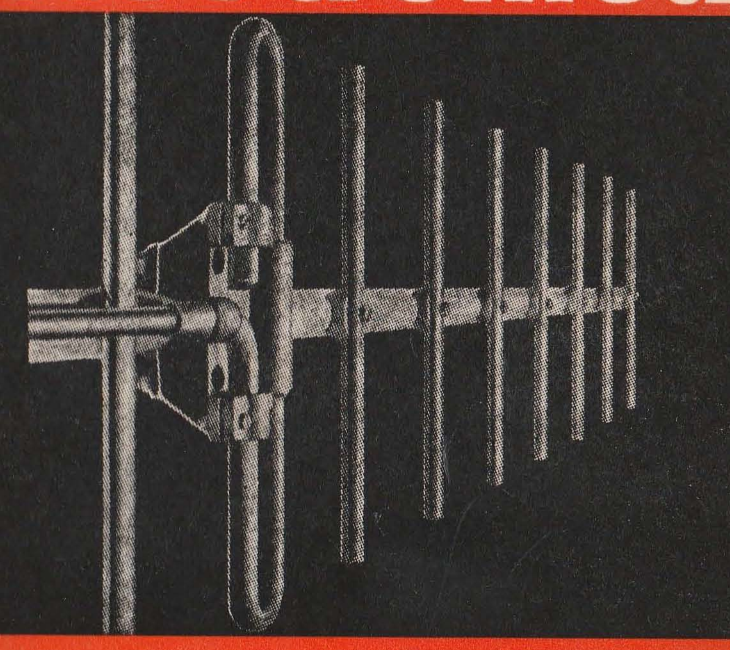
amateurreihe

electronica



Karl Rothammel

Praxis der Fernsehantennen
Teil II

electronica · Band 84

Praxis der Fernsehantennen · Teil II

KARL ROTHAMMEL

DM2ABK

Praxis der Fernsehantennen Teil II



DEUTSCHER MILITÄRVERLAG

Redaktionsschluß: 1. Januar 1969

Die 2. Auflage dieser Broschüre ist als Band 56 der Reihe *Der praktische Funkamateur* erschienen.

Inhalt

(Abschnitt 1. bis 3. siehe Teil I)

4. Das Anpassen von Fernsehantennen

Eine Antennenanlage bezeichnet man als angepaßt, wenn der Wellenwiderstand Z der Speiseleitung gleich dem Fußpunktwiderstand Z_A der Antenne und dem Eingangswiderstand Z_E des Empfängers ist. In diesem Fall ist die Speiseleitung an beiden Enden mit ihrem Wellenwiderstand abgeschlossen ($Z = Z_A = Z_E$), und es wird die maximal mögliche Leistung übertragen.
Weichen Z_A oder Z_E bzw. Z_A und Z_E von Z ab, so besteht Fehlanpassung, und es kann in keinem Fall die maximale Leistung übertragen werden. Je nach dem Grad der Fehlanpassung wird ein mehr oder weniger großer Teil der aufgenommenen Leistung wieder reflektiert; auf der Speiseleitung bilden sich wellenförmige Strom- und Spannungsmaxima – sogenannte stehende Wellen – aus. Als Maßstab für die Genauigkeit der Anpassung wurde ursprünglich der Begriff *Stehwellenverhältnis* (abgekürzt SWV) eingeführt. Man versteht darunter das Verhältnis zwischen der größten und der kleinsten Spannung oder Stromstärke, die auf der Speiseleitung auftritt. Im günstigsten Fall, also bei stehwellenfreier Leitung, ist dieses Verhältnis 1:1. Die Stromstärke oder Spannung hat dann an allen Punkten der Speiseleitung den gleichen Wert. Der Begriff Stehwellenverhältnis wurde als wörtliche Übersetzung aus der englischen Literatur übernommen (Standing Wave Ratio = SWR). In neuerer Zeit hat sich in der DDR die Bezeichnung *Welligkeitsfaktor* oder kurz *Welligkeit* durchgesetzt. Sie kennzeichnet unter dem Formelzeichen s den Quotienten des Maximalwerts U_{max} und des Minimalwerts U_{min} der Spannung

$$s = \frac{U_{max}}{U_{min}}. \qquad (21)$$

Daraus ergibt sich, daß im Anpassungsfall die Welligkeit $s = 1$ ist, bei Fehlanpassung $s > 1$.

Häufig definiert man auch den Grad der Fehlanpassung m aus dem Verhältnis von Minimalspannung zu Maximalspannung

$$m = \frac{U_{min}}{U_{max}}. \qquad (22)$$

Im Anpassungsfall ist dabei m = 1, bei Fehlanpassung wird m < 1. Aus der Fehlanpassung m ergibt sich der Reflexionsfaktor

$$r = \frac{1 - m}{1 + m}. \qquad (22a)$$

Er gibt das Amplitudenverhältnis der rücklaufenden zur vorlaufenden Welle an.
Für Empfangsantennenanlagen sind nach TGL 7224 Welligkeitsfaktoren bis maximal s = 2 (entsprechend m = 0,5) zugelassen. Der Spannungsverlust durch Fehlanpassung kann in diesem Fall bis rund 6% betragen. Die Anpassung industriell hergestellter Einkanalantennen liegt im allgemeinen wesentlich günstiger und wird in den Datenblättern der Firmen angegeben.
Häufig besteht die Meinung, daß vorhandene Plastikerscheinungen* oder Doppelkonturen im Fernsehbild durch eine Fehlanpassung der Antenne bzw. der Speiseleitung verursacht werden. Das ist theoretisch möglich; in den seltensten Fällen wird das jedoch die Ursache sein. Grundsätzlich kann eine *Echowirkung* nur sichtbar werden, wenn Antennenfußpunkt

* Hinsichtlich der auf dem Bildschirm sichtbar werdenden Reflexionen ist folgendes zu unterscheiden:

Geister	— außer dem direkt empfangenen Bild sind rechts neben diesem noch ein Bild oder mehrere in größerem Abstand zu sehen.
Doppelkonturen	— die Konturen des direkten Bildes werden im Abstand von einigen Millimetern noch einmal geschrieben.
Plastik	— das reflektierte Bild liegt so nahe am direkten Bild, daß Doppelkonturen nicht mehr in Erscheinung treten. Die Bildkonturen sind mehr oder weniger *verwaschen* und wirken deshalb plastisch.

und Empfängereingang fehlangepaßt sind. Da man bei industriell hergestellten Fernsehempfängern den Eingangswiderstand mit 240 Ω bzw. 60 Ω als ausreichend genau annehmen kann und auch die handelsüblichen Speiseleitungen entsprechend diesen genormten Werten mit hoher Genauigkeit gefertigt sind, treten grobe Fehlanpassungen bei selbstgebauten Antennenanlagen praktisch nur noch am Antennenfußpunkt auf.

Lediglich im Fernsehband I kommen in der Praxis Doppelkonturen durch Fehlanpassung vor, besonders dann, wenn sehr lange und verlustarme Speiseleitungen verwendet werden. Meistens sind jedoch Plastikerscheinungen und Doppelkonturen auf Abgleichfehler im Zwischenfrequenzverstärker oder noch häufiger auf Echowirkungen außerhalb der Antenne durch Mehrwegeempfang zurückzuführen. Diese Erscheinungen werden im folgenden Abschnitt erläutert.

Vorausgesetzt, daß ein UKW-Bandkabel als Speiseleitung verwendet wird, gibt es eine sehr einfache Möglichkeit, vorhandene Fehlanpassung sofort festzustellen. Man faßt die Bandleitung zwischen Daumen und Zeigefinger und fährt damit auf der Bandleitung über eine Strecke von etwa 1 m entlang. Bei einer fehlangepaßten Antennenanlage wird man dabei auf dem Bildschirm Schwächungen und Verbesserungen des Kontrastes beobachten können. Ist die Anpassung einwandfrei, so ändert sich am Fernsehbild nichts, gleichgültig, an welcher Stelle des Bandkabels sich die Hand befindet.

In Auswertung dieser Erscheinungen kann man eine behelfsmäßige Anpassung durch einen kapazitiven Schieber vornehmen. Wie aus Bild 4.1. ersichtlich, besteht er aus einem Blech- oder Metallfolienstreifen (z. B. Stanniolpapier), der so um die Bandleitung gelegt wird, daß sich seine Enden überlappen, sich aber nicht metallisch berühren. Die Breite des Streifens kann im Band I etwa 60 mm und im Band III rund 30 mm betragen, sie ist nicht kritisch. Dieser kapazitive Schieber wird so lange auf der Bandleitung verschoben, bis das Fernsehbild am kontrastreichsten ist. An dieser Stelle klemmt man dann den Metallstreifen fest. Besser, aber umständlicher ist es, die Speiseleitung etwa 1 m länger als erfor-

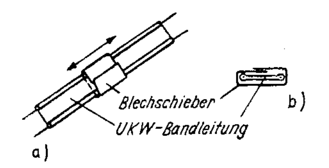


Bild 4.1.
Die behelfsmäßige Anpassung durch einen kapazitiven Schieber; a) Ansicht, b) Schnitt

derlich zu bemessen und diese dann am empfängerseitigen Ende so lange Zentimeter um Zentimeter zu verkürzen, bis sich der beste Empfang einstellt.

Wirkungsvoll und mechanisch nicht schwer zu lösen ist der zusätzliche Anschluß eines kurzgeschlossenen Viertelwellenstückes am Empfängereingang (Bild 4.2.). Zweckmäßig wird das Leitungsstück etwas länger als $\lambda/4$ gehalten und bleibt vorerst unten offen. Nun werden die beiden Kabelleiter mit der Schnittfläche einer Rasierklinge versuchsweise an verschiedenen Punkten kurzgeschlossen, bis die Stelle des besten Empfangs gefunden ist. Dort wird dann eine feste Kurzschlußbrücke eingelötet.

Da Fehlanpassungen auch durch die Antennenumgebung verursacht werden (z. B. durch Annäherung an Gebäudeteile oder an andere Antennen), kann man durch die beschriebenen einfachen Anpassungsmaßnahmen häufig bestehende Antennenanlagen verbessern. Der Erfolg ist am Bildschirm leicht

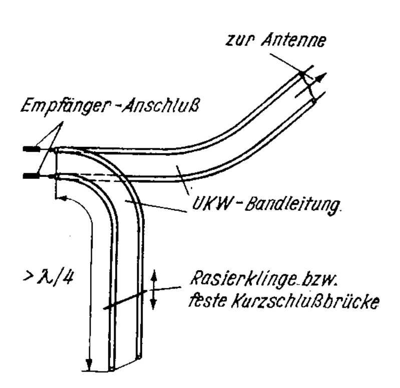


Bild 4.2. Der behelfsmäßige Anpassungsstub am Empfängereingang

zu kontrollieren. Treten jedoch an einer älteren Antennenanlage sehr starke Fehlanpassungen bei verringertem Kontrast auf, so muß diese mechanisch überprüft werden. In vielen Fällen wird ein Leitungsbruch des Speisekabels vorliegen, der bevorzugt am Antennenanschluß auftritt.

Zeitweilige Anpassungsfehler entstehen bei Bandleitungen durch Witterungseinflüsse. So hat z. B. ein regennasses oder mit Rauhreif behangenes Flachbandkabel einen merklich kleineren Wellenwiderstand und größere Dämpfung als eins in trockenem Zustand. Deshalb kommt es vor, daß manche Fernsehteilnehmer bei Regenwetter oder Nebel über ein schlechtes Bild klagen. Aber auch der umgekehrte Fall tritt ein. So wird oft bei Regen, Nebel oder Schnee der Fernsehempfang als besonders gut bezeichnet. Hier darf man annehmen, daß die Antennenanlage fehlangepaßt ist und die durch die Feuchtigkeit verursachte Wellenwiderstandsänderung der Bandleitung gerade ausreicht, die Fehlanpassung zu kompensieren. Vermutlich wird das Nutzsignal über Reflexionen empfangen, und bei nassem Wetter verbessert sich die Leitfähigkeit der reflektierten Flächen.

Auch durch Windbewegung können bei mangelhaft installierten Antennenanlagen zeitweilige Anpassungsfehler auftreten, und zwar dann, wenn die Bandleitung nicht fest verlegt ist. Durch Annäherung an Gebäudeteile (z. B. Dachrinnen) verändert sich der Wellenwiderstand der Zweidrahtleitung; es besteht außerdem die Gefahr von Drahtbrüchen. Die geschilderten Erscheinungen spielen bei großen Nutzfeldstärken innerhalb des Versorgungsgebiets von Fernsehsendern kaum eine Rolle. In Gegenden, in denen mit großem Antennenaufwand gerade noch ein brauchbares Fernsehbild erzeugt werden kann, sind sie jedoch von Bedeutung.

Alle witterungsbedingten Einflüsse werden vermieden, wenn statt der üblichen UKW-Bandleitung ein Koaxialkabel verwendet wird. Dieses ist völlig unempfindlich gegen äußere Einflüsse und nahezu unbegrenzt haltbar.

5. Der Aufbauplatz und das Ausrichten von Fernsehantennen

5.1. Die Wahl des Standorts

Erste Voraussetzung für einen guten Bildempfang ist nicht die Leistungsfähigkeit der Antenne, sondern die Wahl des bestmöglichen Antennenstandorts. Selbst das sorgfältigste Ausrichten einer an ungünstiger Stelle errichteten Antenne wird meist nur mäßigen Erfolg bringen.
Bei der Standortwahl sollte man möglichst direkte Sicht zum Sender anstreben. Die Nähe von Freileitungen und verkehrsreichen Straßen ist zu meiden. Wer die straßenabgewandte Dachseite als Antennenaufbauort wählen kann, hat meist weniger unter örtlich bedingten Störungen zu leiden. Auch aus Sicherheitsgründen ist dieser Aufbauplatz vorzuziehen, da hierbei die Straßenpassanten durch möglicherweise herabfallende Antennenteile weitaus weniger gefährdet sind.
Da jede Außenantenne geerdet sein muß, sollte man bereits bei der Standortwahl diese Forderung mit berücksichtigen. Von mehreren elektrisch gleichwertigen Aufbaupunkten wähle man deshalb den, in dessen Bereich eine günstige Erdungsmöglichkeit für die Antennenanlage vorhanden ist oder geschaffen werden kann. Um gegenseitige Einflüsse zu vermeiden, sollte man sich der Nachbarantenne nicht zu sehr nähern. Im allgemeinen ist ein gegenseitiger horizontaler Abstand von 2 · · · 3 m als ausreichend anzusehen. Schornsteinabgase enthalten oft aggressive Bestandteile, die die Antennenanlage angreifen. Deshalb sollte man die unmittelbare Schornsteinnähe als Aufbauplatz meiden. Im übrigen bestehen für die Montage von Antennen an Schornsteinen besondere gesetzliche Vorschriften, auf die noch eingegangen wird. Leider ergibt das Befolgen dieser grundsätzlichen Empfehlungen nicht immer das bestmögliche Fernsehbild. Das ist besonders bei bergigem Gelände und in dicht bebauten Städten der Fall. Wer in solchen reflexions„verseuchten" Gegenden wohnt, sollte

nicht die Mühe scheuen, den günstigsten Antennenstandort durch sehr sorgfältige Empfangsversuche zu ermitteln. Im allgemeinen stellt man den Standort, an dem die maximale Feldstärke vorhanden ist, mit einem Antennen-Testgerät fest. Abgesehen davon, daß Antennen-Testgeräte nicht immer zur Verfügung stehen, birgt ihre Anwendung eine schwerwiegende Fehlerquelle in sich: Die Anzeige der maximalen Antennenanpassung sagt nichts darüber aus, ob auch gleichzeitig noch Reflexionen empfangen werden. Da aber der Ort mit maximaler Antennenspannung nicht immer bestmögliche Bildwiedergabe garantiert, so kontrolliert man den Erfolg der Bemühungen um den günstigsten Antennenstandort jeweils direkt am Bildschirm des Fernsehempfängers. Dabei sollte man sich unbedingt der Mithilfe eines mit den Gefahren einer Dachbegehung vertrauten Fachmannes (z. B. Dachdecker) versichern. Den Fernsehempfänger stellt man für die Zeit der Empfangsversuche am besten im Dachgeschoß auf, da von dort aus meist Rufverbindung mit dem „Dachgänger“ besteht. Als Testantenne kann die für die Festmontage vorgesehene Antenne verwendet werden, sofern diese nicht zu groß und unhandlich ist. In allen Fällen eignet sich jedoch auch eine kleine 3-Element-Yagi als Testantenne. Sollte diese kleine Antenne nicht bereits ein mäßiges – wenn auch leicht verrauschtes – Bild liefern, so wird man auch mit sehr umfangreichen Antennensystemen kaum befriedigende Empfangsergebnisse erzielen.

5.2. Die Aufbauhöhe

Nachdem man den günstigsten Aufbauort für die Antenne festgelegt und dort das Standrohr montiert hat, folgt das Befestigen der Antenne an ihrem Mast. Meist ist man bestrebt, die durch das Standrohr gebotene Höhe voll auszunutzen und deshalb die Antenne möglichst weit oben am Rohr zu montieren. Die Praxis zeigt jedoch, daß die größtmögliche Aufbauhöhe keineswegs immer die günstigste ist. Die Höhe einer benachbarten Fernsehantenne bietet noch keine Gewähr dafür,

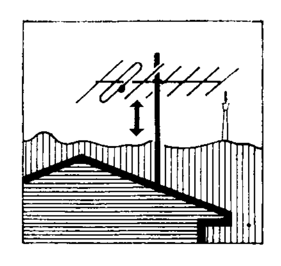


Bild 5.1.
Die Veränderung der Aufbauhöhe

daß diese Höhe auch für die neu zu errichtende Antenne maßgebend sein muß. Bedingt durch das quasioptische Verhalten der hohen Frequenzbereiche, kann ein Abstand von wenigen Wellenlängen – unter Umständen sogar ein Abstand von einem Viertel oder der Hälfte der Wellenlänge – beträchtliche Empfangsunterschiede ergeben. Besonders in Gebieten mit geringen Feldstärken des Nutzsenders sollte man die Antenne in verschiedenen Höhen am Standrohr behelfsmäßig befestigen, wobei das Empfangsergebnis am Bildschirm jeweils beobachtet wird (Bild 5.1.).

5.3. Die Seitenrichtung

Im allgemeinen erhält man die maximale Antennenspannung, wenn die Antenne mit ihrer Hauptempfangsrichtung genau auf den Sender ausgerichtet ist; der Sender liegt also genau in der Achsrichtung des Elementträgers (Bild 5.2.). Da man den Fernsehsender auf Grund zu großer Entfernungen meist nicht sehen kann und da er sich deshalb optisch nicht direkt anvisieren läßt, wird oft die Einstellung der Seitenrichtung mit Hilfe von Karte und Kompaß vorgenommen. Im Flachland ergibt dieses Einstellverfahren vielfach die maximale Antennenspannung. In bergigem oder dicht bebautem Gelände ist jedoch erfahrungsgemäß nicht unbedingt die genaue Einstellung mit dem Kompaß das günstigste Verfahren. Wie aus Bild 5.3. hervorgeht, können Berghänge, große Gebäudekomplexe usw. eine Beugung der Senderstrahlung verursachen,

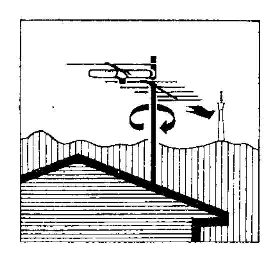
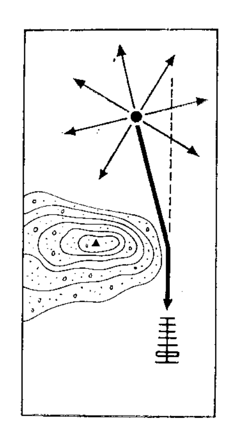


Bild 5.2.
Die seitliche Ausrichtung auf den Sender



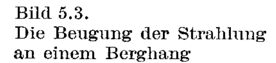


Bild 5.3.
Die Beugung der Strahlung an einem Berghang

so daß man die maximale Antennenspannung nicht aus der direkten Richtung zum Sender erhält. Genaue Meßwerte liefert dabei ein Antennen-Testgerät.
Richtungsabweichungen durch Beugung sind harmlos, da man sie durch leichtes Verändern der Antennenrichtung immer korrigieren kann. Viel hartnäckiger und leider auch häufiger sind Reflexionen, die sich sehr schwer oder teilweise überhaupt nicht mit herkömmlichen Mitteln völlig beseitigen lassen. Diese Reflexionen und ihre Eigenschaften sollen deshalb im folgenden Abschnitt ausführlicher besprochen werden.

5.3.1. Bildstörungen durch Reflexionen

Reflexionsstörungen beeinträchtigen den Fernseh-Bildempfang unangenehm. Sie sind an Doppelkonturen oder an seitlich versetzten Doppelbildern zu erkennen, die man meist als Echobilder oder als Geisterbilder bezeichnet.

5.3.1.1. Die Entstehung eines Geisterbilds

Reflexionen haben ihren Ursprung in einem Mehrwegeempfang des gleichen Bildsignals. Es werden also neben dem direkten,

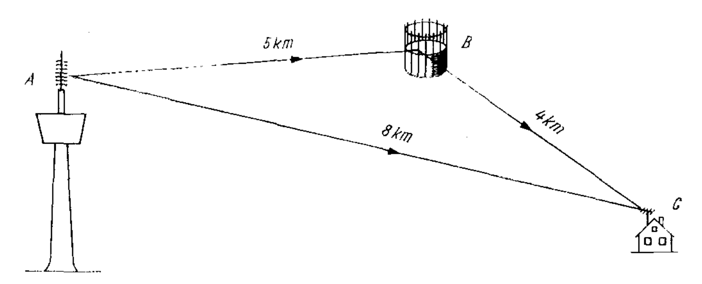


Bild 5.4. Mehrwegeempfang durch Reflexion an einem Gasometer

auf dem kürzesten Weg vom Sender eintreffenden Signal von der Antenne auch noch die gleichen Signale aufgenommen, die über einen Umweg, und deshalb zeitlich verzögert, ankommen. Bild 5.4. veranschaulicht diesen Vorgang an einem einfachen Beispiel. Die vom Fernsehsender A ausgestrahlten elektromagnetischen Schwingungen erreichen die Empfangsantenne C auf dem direkten Weg AC und legen dabei eine Strecke von 8 km zurück. Ein großer Gasometer, der 4 km von der Empfangsantenne entfernt steht, reflektiert die Senderstrahlung in Richtung C. Die Weglänge für diese auf dem Umweg über den Gasometer eintreffende Strahlung beträgt dabei AB + BC = 9 km. Es ist also ein Umweg von 1 km zu verzeichnen. Da die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Schwingungen 300000 km/s beträgt, trifft das reflektierte Signal um $^1/_{300\,000}$ Sekunde = 3,3 μs gegenüber dem direkten Signal verzögert bei der Empfangsantenne ein (1 μs = 1 Mikrosekunde = 1 Millionstel Sekunde). Wie wirken sich nun diese zeitlich verschoben eintreffenden Bildsignale auf das Schirmbild aus? Von der Bildröhre werden in jeder Sekunde 25 Bilder geschrieben; ein vollständiges Bild kommt also in $^1/_{25}$ s zustande. Da jedes Bild aus 625 Zeilen besteht, beträgt die Zeit, um eine Zeile zu schreiben,

$$^1/_{25} \cdot {}^1/_{625} = {}^1/_{15\,625}\ \mathrm{s} = 64\ \mu\mathrm{s}.$$

Ferner muß noch berücksichtigt werden, daß die 64 μs die Zeit für den Zeilenrücklauf und für die Synchronisierimpulse mit enthalten. Da die Zeile vom Elektronenstrahl immer von

links nach rechts geschrieben wird, muß der Strahl, wenn er am rechten Zeilenende angekommen ist, zum linken Zeilenanfang der folgenden Zeile zurücklaufen. Die hierzu und für die Synchronisierimpulse benötigte Zeit beträgt etwa ein Fünftel der Zeilenschreibzeit von 64 µs, das sind rund 13 µs. Die sichtbare Zeile wird demnach in 64 – 13 = 51 µs geschrieben.

Bei richtiger Einstellung des Fernsehgeräts ist die Zeilenlänge gleich der Bildschirmbreite. Sie beträgt für die handelsüblichen Bildröhren in der Bildmitte etwa

240 mm bei einer 30-cm-Bildröhre,
365 mm bei einer 43-cm-Bildröhre,
485 mm bei einer 53-cm-Bildröhre,
540 mm bei einer 61-cm-Bildröhre.

Aus diesen Angaben kann nunmehr errechnet werden, in welchem Abstand das Geisterbild rechts neben dem direkten Bild in Abhängigkeit vom Laufzeitunterschied auf dem Bildschirm sichtbar wird.

Das Beispiel in Bild 5.4. ergab für das reflektierte Signal einen Umweg von 1 km, entsprechend einem Laufzeitunterschied von 3,3 µs. Da die sichtbare Zeile in 51 µs geschrieben wird, rechnen wir den Abstand a des Geisterbilds bei einer 30-cm-Bildröhre aus

$$a = \frac{3,3}{51} \cdot 240 = 15,53 \text{ mm.}$$

Bei einer 43-cm-Bildröhre würde das Geisterbild

$$\frac{3,3}{51} \cdot 365 = 23,62 \text{ mm}$$

und bei einer 53-cm-Bildröhre

$$\frac{3,3}{51} \cdot 485 = 31,38 \text{ mm}$$

vom Hauptbild entfernt auf dem Bildschirm sichtbar werden. Nach Bild 5.5. kann man den Abstand von Reflexionen auf den handelsüblichen Bildschirmen in Abhängigkeit vom Umweg

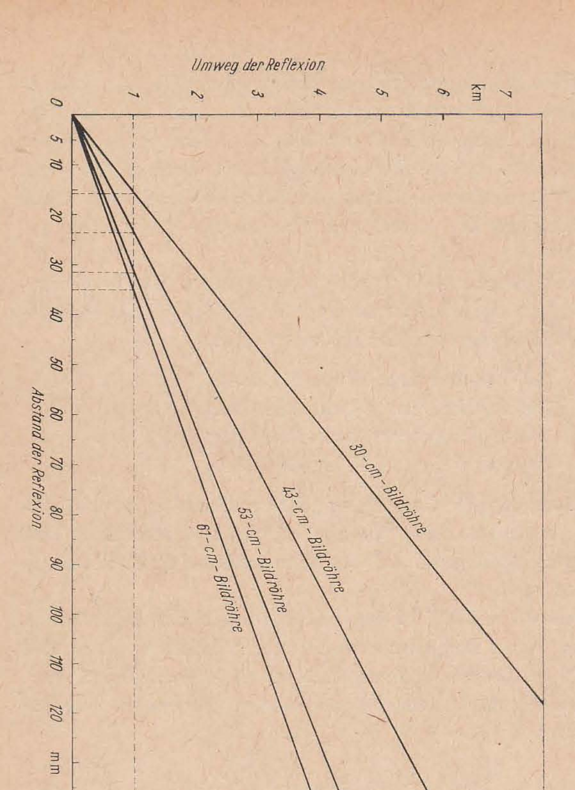


Bild 5.5. Der Abstand von Reflexionen auf dem Bildschirm in Abhängigkeit vom Umweg des reflektierten Signals bzw. dessen Laufzeitunterschieds

des reflektierten Signals bzw. den Laufzeitunterschied des Signals direkt ermitteln. Das oben errechnete Beispiel ist gestrichelt gezeichnet.

Bild 5.6. zeigt, wie sich eine starke Reflexion mit einem Laufzeitunterschied von schätzungsweise 2 μs – entsprechend einem Umweg von 600 m – auf dem Bildschirm auswirken

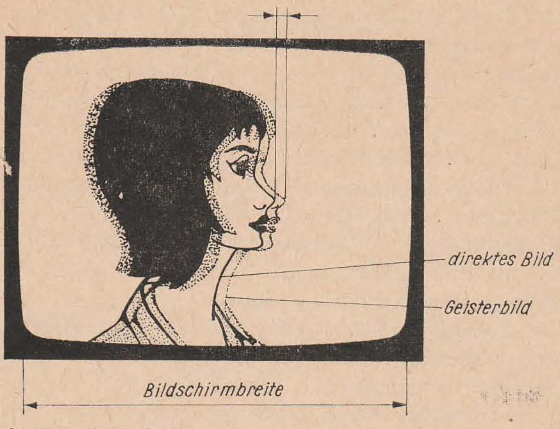


Bild 5.6. Das Geisterbild

kann. Im allgemeinen ist die Feldstärke von reflektierten Wellen geringer als die der direkten Welle, denn bei Reflexionen treten stets, je nach Art, Lage und Struktur der reflektierenden Fläche, mehr oder weniger große Verluste auf. Es kommt aber auch vor, daß in Ausnahmefällen das über Reflexionen eintreffende Signal stärker ist als das auf direktem Wege eintreffende. Das kann z. B. dann der Fall sein, wenn sich die reflektierende Fläche an einem Ort befindet, an dem eine besonders große Feldstärke vom Nutzsender auftrifft. Des weiteren treten diese Erscheinungen auf, wenn im kürzesten Ausbreitungsweg absorbierende Hindernisse, wie Hochspannungsmasten oder Freileitungen, liegen und andererseits Reflexionen sehr verlustarm an größeren glatten Metallflächen – etwa an einem Gasometer – erfolgen können. Beträgt die Spannung der reflektierten Welle am Empfängereingang nur wenige Prozent von der der direkten Welle, so ist ebenfalls auf dem Bildschirm ein Geisterbild zu erkennen. Haben am Empfängereingang Reflexionen und direkte Welle annähernd die gleiche Spannung, so ist ein Bildempfang nicht mehr möglich, weil der Empfänger keine eindeutigen Synchronisier-

impulse erhält. Die Synchronisierimpulse sind der übertragenden Welle zusätzlich aufmoduliert. Sie stellen sicher, daß Abtast- und Aufzeichnungszeit bei der Bildübertragung immer genau gleich sind. Werden dem Empfänger keine einwandfreien und eindeutigen Synchronisierimpulse zugeführt, so „fällt er aus dem Tritt", und das Bild läßt sich nicht zum Stehen bringen. Durch den Laufzeitunterschied der reflektierten Welle erscheinen ihre Synchronisierimpulse um die gleiche Zeitspanne verschoben wie die Bildpunkte. Der Empfänger erhält deshalb die Synchronisierimpulse doppelt, aber zu unterschiedlichen Zeiten. Eine Synchronisierung des Fernsehbilds ist daher nicht mehr möglich.
Der Fernseh-Begleitton wird durch reflexionsbedingte Laufzeitunterschiede nicht beeinträchtigt, zumindest werden die dadurch hervorgerufenen Verzerrungen vom menschlichen Ohr noch nicht als störend wahrgenommen.
Es können auch Doppelreflexionen auftreten, wenn die Strahlung zweimal an verschiedenen Reflexionsflächen reflektiert wird (Bild 5.7.). Manchmal sind auch Mehrfachreflexionen zu beobachten, die ganze Serien von Geisterbildern auf dem Bildschirm hervorbringen.
Fallen Reflexionen in einem kleineren Winkel als etwa 25° zum Hauptstrahl ein, so können sie kein Geisterbild mehr erzeugen, da der Laufzeitunterschied zu gering ist. In Fällen von Doppelreflexionen werden jedoch auch bei Einfallswinkeln $< 25°$ zum Hauptstrahl Echobilder hervorgerufen. Befindet sich die Reflexionsfläche weniger als 30 m von der Empfangsantenne entfernt, so können ebenfalls keine Geisterbilder auftreten, da hierbei der mögliche Umweg der reflektierten Welle zu gering ist.
Von einem Geisterbild spricht man nur dann, wenn es mindestens einen Millimeter Abstand vom Hauptbild hat. Kleinere Abstände ergeben Doppelkonturen, die man auch als *Plastik* bezeichnet. Bewegen sich die Abstände von Reflexionen zum Direktbild in der Größenordnung von Zehntelmillimetern, so werden nur die Bildkonturen zwischen schwarz und weiß unscharf.

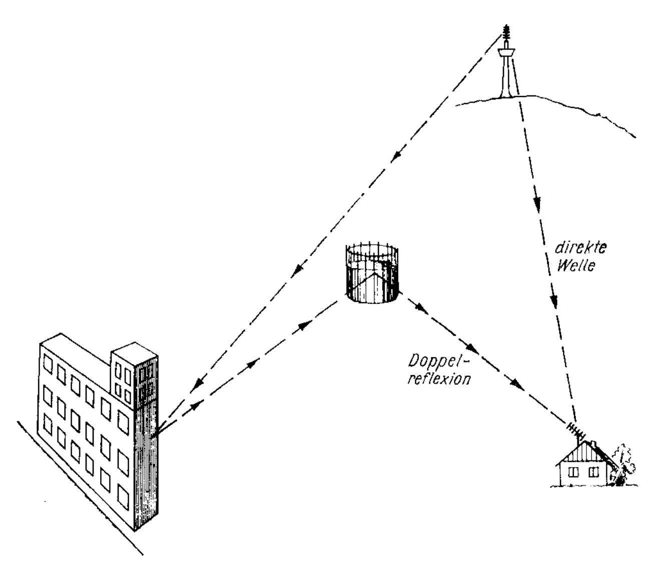


Bild 5.7. Doppelreflexion

5.3.1.2. Das Ausblenden von Reflexionen

Hinter der Empfangsantenne gibt es kaum noch Möglichkeiten, vorhandene Geisterbilder zu unterdrücken; denn die reflektierten Wellen haben kein Unterscheidungsmerkmal, das zu einer Trennung von der Hauptwelle ausgenutzt werden könnte. Alle Bemühungen zur Beseitigung von Reflexionen müssen sich daher auf die Antenne beschränken.
Zunächst stellt man fest, aus welcher Richtung die störende Reflexion einfällt. Dabei wird die Antenne so lange verdreht, bis das Geisterbild am stärksten ist. Die Einfallsrichtung der Reflexion kann jeden beliebigen Winkel zur direkten Richtung zum Sender haben; vorerst soll jedoch grob in „Aufnahme von hinten", „Aufnahme seitlich" und „Aufnahme von vorn", bezogen auf die direkte Antennenrichtung, unterschieden werden.

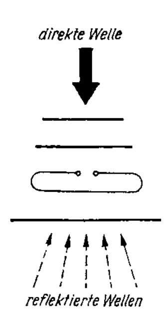


Bild 5.8.
Rückwärtsreflexion

Reflexionsfall von rückwärts (Bild 5.8.)

Jede Fernsehantenne empfängt einen mehr oder weniger großen Anteil an rückwärtiger Strahlung. Diese unerwünschte Eigenschaft ist aus den Richtdiagrammen erkennbar und wird in den Kenndaten durch das *Vorwärts/Rückwärts-Verhältnis* (VRV) in Dezibel angegeben. Das VRV bezeichnet man auch als die Rückdämpfung der Antenne. Eine Fernsehempfangsantenne mit vollkommener Unterdrückung der rückwärtigen Strahlung gibt es nicht. Sie müßte mit einem sehr großen Reflektorschirm versehen werden, dessen Durchmesser etwa die zehnfache Betriebswellenlänge haben sollte (Schirmdurchmesser im Band III rund 15 m).
Um den Rückseitenempfang weitestgehend zu unterdrücken, muß eine Empfangsantenne mit möglichst großer Rückdämpfung verwendet werden. Dabei verhalten sich Einkanalantennen bezüglich der Rückdämpfung günstiger als Kanalgruppen- oder Breitbandantennen. Die Rückdämpfung einer Antenne hat eine größere Frequenzabhängigkeit als ihre Vorwärtsverstärkung. Man wird deshalb häufig feststellen, daß eine Breitbandantenne in einem Empfangskanal oder in mehreren ein großes VRV zeigt, während in den übrigen Kanälen die Rückdämpfung mangelhaft ist. Bei Breitbandantennen gibt man deshalb meist die maximale und die minimale Rückdämpfung an. Da die Datenblätter aber fast nie Genaues über den Frequenzgang der Rückdämpfung aussagen, verzichtet

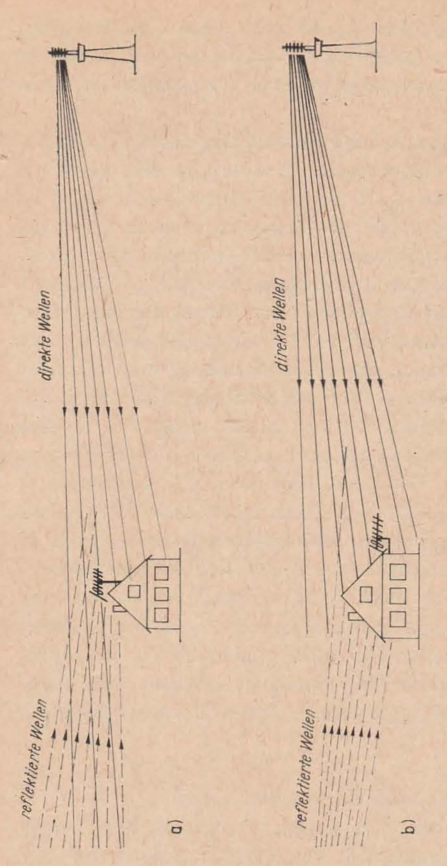


Bild 5.9. Die Ausnutzung von Schattengebieten reflektierter Wellen; a — Antenne empfängt direkte und reflektierte Wellen, b — Antenne im Schattengebiet reflektierter Wellen aufgebaut

man besser auf Breitbandausführungen, wenn Reflexionen zu unterdrücken sind, die von rückwärts einfallen.

Gute Rückdämpfungswerte weisen Reflektorwandantennen auf, deren VRV auch in Breitbandausführung keinen merk-

baren Frequenzgang hat. Leider sind diese Gebilde sperrig und erfordern einen großen Materialaufwand. Man findet sie deshalb im Fabrikationsprogramm der Antennenindustrie nur noch selten.

Ordnet man zwei gleichartige Antennen horizontal nebeneinander an (sog. Zwillingsantennen), so erhöht sich die Rückdämpfung gegenüber einer Einzelantenne. Gleichzeitig wird durch diese Maßnahme ein sehr kleiner horizontaler Öffnungswinkel erzielt, der besonders nützlich sein kann, wenn gleichzeitig noch Reflexionen aus anderen Richtungen auftreten. Die wirksamste und wirtschaftlichste Lösung für die Unterdrückung rückwärtiger Reflexionen bietet sich jedoch, wenn die Möglichkeit besteht, die Schattenwirkung von Gebäuden auszunutzen. In Bild 5.9. ist dieser Fall dargestellt. Eine Antenne, die den Dachfirst überragt, nimmt neben der direkten Welle auch noch Reflexionen von rückwärts auf (Bild 5.9.a). Die Lösung zeigt Bild 5.9.b. Hier wird die abschirmende Wirkung des Gebäudes ausgenutzt, indem man die Antenne im Abschattungsgebiet der Rückwärtsreflexionen aufbaut. Mit etwas Überlegung lassen sich solche oder ähnliche Möglichkeiten häufig finden. Massive Gebäudeteile haben eine gute Abschirmwirkung, im Bereich hölzerner Dachkonstruktionen ist diese dagegen nur gering. Andererseits muß man bedenken, daß auch die Nutzfeldstärke vom Dach bis zum Erdgeschoß stark abnimmt; das ist besonders bei Eisenbetonbauten der Fall.

Seitlicher Einfall von Reflexionen (Bild 5.10.)

Zum Ausblenden von Reflexionen, die seitlich zur Hauptrichtung einfallen, nutzt man die sogenannten *Nullstellen*, die im Richtdiagramm von Yagi-Antennen erkennbar sind. Diese Nullstellen befinden sich symmetrisch zu beiden Seiten und etwa rechtwinklig zur Hauptstrahlrichtung (Bild 5.11.). Elektromagnetische Wellen, die unter dem Winkel solcher Nullstellen die Antenne erreichen, werden stark gedämpft. Die Dämpfung der Nullstellen ist im allgemeinen viel größer als die Rückdämpfung von Yagi-Antennen. Natürlich fallen seitliche Reflexionen nur selten unter dem Winkel der Nullstellen

Bild 5.10.
Seitlicher Einfall von Reflexionen

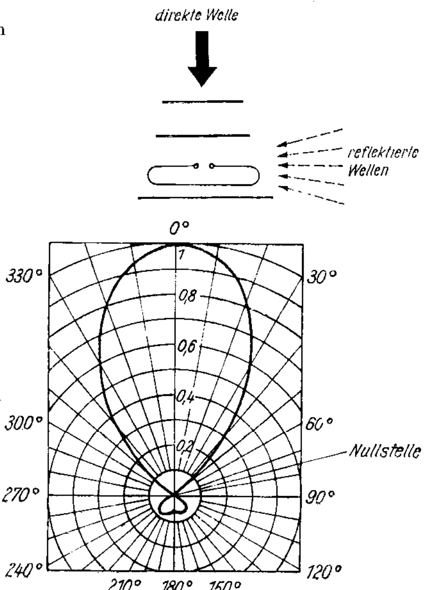


Bild 5.11. Horizontales Richtdiagramm einer Yagi-Antenne

ein. Die Antenne muß deshalb so verdreht werden, daß die Nullstelle genau in der Richtung der seitlich einfallenden Reflexion liegt (Bild 5.12.). Dabei ist dann die Antenne nicht mehr genau auf den Sender ausgerichtet, sondern mehr oder weniger aus der Hauptstrahlrichtung herausgedreht. Da aber gleichzeitig die Reflexionen viel mehr geschwächt werden als die direkten Wellen, steigt der Abstand Nutzspannung/Störspannung (kurz: *Störspannungsabstand*) erheblich an. Der Erfolg zeigt sich in einer vollkommenen Unterdrückung oder zumindest in einer entscheidenden Abschwächung der Geisterbilder.

Auch im Falle seitlich auftretender Reflexionen kann hin und wieder die abschattende Wirkung von Gebäudeteilen ausgenutzt werden.

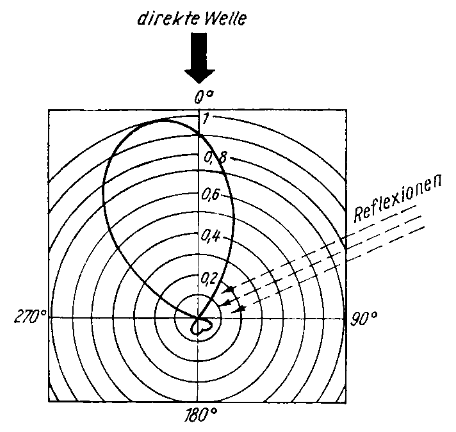


Bild 5.12. Yagi-Antenne, aus der Hauptempfangsrichtung verdreht; Reflexionen fallen in eine Nullstelle

Einfall der Reflexionen von vorn (Bild 5.13.)
Fallen Reflexionen annähernd aus der Richtung der direkten Wellen ein, so handelt es sich zumindest im Bereich bis 25° beiderseits der Hauptstrahlrichtung um doppelt reflektierte Signale (s. Bild 5.7.). Ihre Beseitigung ist schwierig und gewöhnlich nur dann möglich, wenn die reflektierte Spannung einen geringen Bruchteil der direkten Spannung beträgt. Da

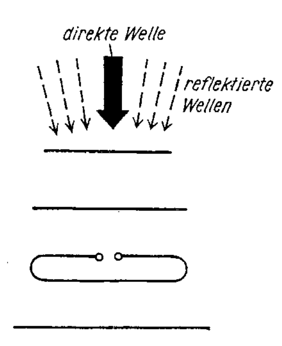


Bild 5.13.
Reflexionen von vorn

der horizontale Öffnungswinkel auch bei langen Yagi-Antennen mit vielen Elementen bestenfalls 35 bis 40° beträgt, lassen sich die Reflexionen innerhalb dieses Winkelbereichs auch bei großem Antennenaufwand nicht ausblenden. Etwas günstiger sind Zwillingsantennen, mit denen sich Öffnungswinkel von 25 bis 35° erreichen lassen. Darum kann mit einer erfolgreichen Störungsbeseitigung nur dann gerechnet werden, wenn die Reflexionen um mindestens 25° seitlich versetzt von der Hauptempfangsrichtung einfallen. Antennen mit möglichst kleinem horizontalem Öffnungswinkel – vorzugsweise Zwillingsantennen – sind Bedingung. Häufig kann man die Bildqualität nur verbessern, indem der Antennenstandort gewechselt wird.

Unterdrückung von Reflexionen durch Dämpfung des Gesamtsignals

Jeder Fernsehempfänger hat eine bestimmte Ansprechempfindlichkeit. Deshalb spricht er nicht mehr auf Störspannungen an, die kleiner sind als die Rauschspannung. Ist also der Spannungsanteil der Reflexionen am Empfängereingang kleiner als die Ansprechspannung des Empfängers, dann können diese Störungen auf dem Bildschirm nicht mehr sichtbar werden. Auf Grund dieser Tatsache läßt sich ein Verfahren aufbauen, das Reflexionsstörungen vermindert oder beseitigt.

Unsere modernen Fernsehempfänger benötigen für einwandfreie Bildwiedergabe eine Empfangsspannung von rund 500 μV am 240-Ω-Empfängereingang. Sehr viel höhere Eingangsspannungen bringen keine Vorteile mehr, sie können im Gegenteil Übersteuerungen des Empfängers hervorrufen. Lassen sich bei einer starken Nutzspannung gleichzeitig schwache Reflexionen erkennen, dann dämpft man die Gesamtspannung so weit, daß nur etwa 500 μV am Empfängereingang liegen. Da hierbei nicht nur die Nutzspannung, sondern in gleicher Weise auch die Störspannung herabgesetzt werden, kann man in vielen Fällen erreichen, daß die reflektierten Spannungen kleiner als die Ansprechspannung und damit unwirksam werden. Dieses Verfahren ist im allgemeinen nur dann erfolgreich, wenn vorher schon antennenseitig alle Möglichkeiten zur Aus-

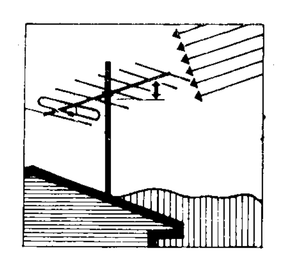
blendung von Reflexionen angewendet wurden. Es bildet dann sozusagen das Tüpfelchen auf dem i. Geeignete Dämpfungsglieder zum Selbstbau werden in Abschnitt 7.2.1. beschrieben.

Zusammenfassung
Das erfolgreiche Ausblenden von Reflexionen bedarf einiger Erfahrungen und oft sehr zeitraubender Versuche, da eine allgemeingültige Regel auf Grund der vielen Möglichkeiten nicht gegeben werden kann.
In reflexions„verseuchten" Gebieten ist die Auswahl des geeigneten Antennentyps von entscheidender Bedeutung. Gruppenantennen sind in diesen Gegenden ungeeignet. In Frage kommen ausschließlich scharfbündelnde Yagi-Antennen, wobei man Einkanal-Yagis den Breitbandausführungen vorziehen sollte. In schwierigen Fällen können oft Zwillingsantennen (zwei Einkanal-Yagis horizontal nebeneinander) Hilfe bringen.
Die Auswahl der Antenne soll nicht nach dem Antennengewinn schlechthin erfolgen; es muß vielmehr die gesamte Richtcharakteristik berücksichtigt werden (horizontaler Öffnungswinkel, Nullstellen, Rückdämpfung).
In Ausnahmefällen ist eine Reflexion stärker als die direkt empfangene Welle. Handelt es sich dabei um eine stabile Reflexion, so richtet man die Antenne auf diese Reflexion aus und unterdrückt die direkte Welle.
Reflexionen können auch von einer als Ableitung verwendeten UKW-Bandleitung aufgenommen werden. Abhilfe: Koaxialkabel verwenden, da dieses auf Grund seines abschirmenden Außenleiters eine Störungsaufnahme zuverlässig verhindert.

5.4. Das Schwenken der Antenne (Bild 5.14.)

Im allgemeinen ist der Elementeträger einer Fernsehantenne horizontal angeordnet, da man für den Normalfall bei horizontal polarisierten Sendern einen waagerechten Einfall der Senderstrahlung annimmt. An Berggraten, Gebäudekanten und ähnlichen Hindernissen sowie in Sendernähe treten manchmal Beugungen der Wellenfront auf. Infolgedessen verläuft die

Bild 5.14.
Das Schwenken der Antenne bei schrägem Strahlungseinfall



Strahlung nicht mehr waagerecht, sondern in einem entsprechenden Winkel zur Erdoberfläche (Bild 5.14.). Eine unter diesen Umständen waagerecht aufgebaute Antenne empfängt nicht die maximale Spannung. Wird der Elementeträger vertikal so geschwenkt, daß er parallel zur Einstrahlrichtung liegt, dann ist maximale Spannungsaufnahme möglich.
Bei scharfbündelnden VHF- und UHF-Antennen mit kleinem vertikalem Öffnungswinkel ist deshalb meist schon vom Hersteller eine Schwenkmöglichkeit innerhalb eines gewissen Bereichs (meist bis etwa 30°) vorgesehen. Dazu sind im allgemeinen die Teile der Mastschelle, die den Elementeträger festhalten, beweglich gelagert. Nach dem Lockern der Befestigungsschrauben kann man den Elementeträger schwenken.
Selbst dann, wenn die Antenne so genau wie möglich auf den Sender ausgerichtet ist, kann ein Verschieben des Elementeträgers in der Längsrichtung (vorwärts oder rückwärts) noch eine Empfangsverbesserung ergeben. Für theoretische Betrachtungen nimmt man das elektromagnetische Feld als vollkommen gleichförmig verteilt (homogen) an. Ist aber der Ausbreitungsraum selbst infolge starker Bebauung oder bergigen Geländes nicht gleichförmig, so wird auch das elektromagnetische Feld inhomogen (ungleichförmig verteilt). Es treten dabei innerhalb sehr kleiner Abstände Maxima und Minima auf. Solche Erscheinungen sind oft im Bereich III, vorzugsweise aber in den UHF-Bereichen IV/V zu beobachten. In schwierigen Empfangslagen lohnt es sich deshalb, die Antenne versuchsweise in ihrer Längsrichtung um 10 cm bis 50 cm zu verschieben.

6. Fremde Störer

Bereits Störspannungen, die nur 1 % der Nutzspannung betragen, sind unter Umständen als Bildstörung (bei genauer Betrachtung) im Fernsehbild zu erkennen. Der Störspannungsabstand für einwandfreien Fernsehempfang soll deshalb mindestens 40 dB betragen.
Um Störungen beseitigen oder herabmindern zu können, ist es wichtig, die Störungsursache bzw. Störungsquelle zu kennen. Mit einiger Erfahrung läßt sich die Störungsursache in den meisten Fällen aus dem Schirmbild identifizieren. Störspannungen werden fast ausnahmslos von der Antennenanlage aufgenommen. Nur sehr starke örtliche Störungen können sich mitunter über die Netzzuleitung oder durch direkte Einstrahlung auf den Empfänger auswirken.

6.1. Gleichkanalstörungen

Alle Kanäle der Fernsehbereiche I und III sind in Mitteleuropa bereits stark überbelegt. Hinzu kommt eine Vielzahl von Fernseh-Frequenzumsetzern, die ebenfalls noch auf den Kanälen des Bereichs III untergebracht wurden. Obwohl man die Sendekanäle unter Berücksichtigung der Senderstandorte so zuteilte, daß gegenseitige Störungen normalerweise unwahrscheinlich sind, treten in gewissen Gebieten doch immer wieder sogenannte Gleichkanalstörungen (Bild 6.1.) auf. Sie entstehen meistens zu Zeiten troposphärisch bedingten Überreichweitenempfangs an den Grenzen der Versorgungsbereiche. Da solche gegenseitigen Störungen zwischen weit voneinander entfernten Fernseh-Großsendern gewöhnlich nur während besonders ausgebildeter Hochdruckwetterlagen kurzzeitig auftreten, lohnt es nicht, Maßnahmen gegen solche Gleichkanalstörungen zu ergreifen. Dagegen sind in gebirgigen Gegenden mit vielen Fernseh-Frequenzumsetzern häufig dauernde

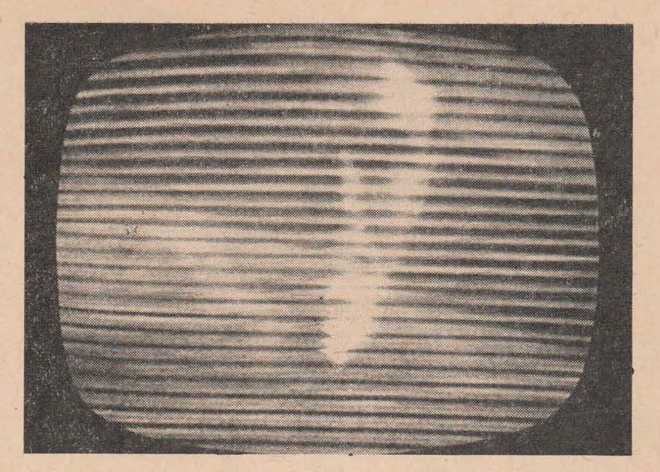


Bild 6.1. Starke Gleichkanalstörungen (Foto: Triebel)

Gleichkanalstörungen zu verzeichnen. Sie können sowohl von anderen Frequenzumsetzern im gleichen Kanal und mit gleichem Programm als auch von Fremdsendern hervorgerufen werden.
Werden die Gleichkanalstörungen durch einen Sender mit gleichem Programm verursacht, so können daraus wegen unterschiedlicher Laufzeiten Geisterbilder entstehen. Die Bildsynchronisation wird unstabil und kann gänzlich ausfallen. Teilweise sind die Laufzeitdifferenzen so groß, daß außerdem der Tonempfang verzerrt ist.
Ein Fremdsender im gleichen Kanal kann keine Geisterbilder erzeugen. Es entstehen vielmehr durch Überlagerung verschiedenartige Streifenmuster und waagerechte Balken auf dem Bildschirm, die meist nach oben oder nach unten über das Bild rollen. Die Bildkonturen werden korkenzieherförmig verzerrt, und die Bildsynchronisation ist sehr labil. Schließlich läßt sich der Bildinhalt nicht mehr erkennen, und die Synchronisation fällt gänzlich aus.
Ähnliche Störungen werden manchmal auch in den Grenzgebieten zur Volksrepublik Polen und zur ČSSR beobachtet.

Da die dort betriebenen Fernsehsender nach dem Kanalschema der OIRT-Norm arbeiten, kann es vorkommen, daß ihre Seitenbänder noch in den Kanal des zu empfangenden Fernsehsenders nach CCIR-Norm hineinragen, obwohl sich die Trägerfrequenz des störenden Senders außerhalb des CCIR-Kanals befindet. Da sich Gleichkanalstörungen genauso wie Störungen durch Reflexionen als die Folge von Laufzeitdifferenzen ausbilden, sind auch die Möglichkeiten zu ihrer Beseitigung die gleichen. Es wird deshalb auf Abschnitt 5.3.1. verwiesen.

6.2. Örtlich bedingte Störungen

Alle Geräte und Anlagen, die als Nebenwirkung hochfrequente Schwingungen zur Ausstrahlung bringen – sogenannte funkstörende Erzeugnisse –, unterliegen der Entstörungspflicht. Die gesetzliche Grundlage dafür bildet die Funk-Entstörungsordnung vom 3. April 1959. Das Ermitteln von Störquellen und die Beratungen über Funk-Entstörungsmaßnahmen gehören zu den Aufgaben des Funk-Entstörungsdienstes der Deutschen Post. Diese Leistungen des Funk-Entstörungsdienstes sind gebührenfrei.
Eine Funkstörung liegt vor, wenn die Störspannung an der Betriebsantenne der gestörten Empfangsanlage den Wert von 5 μV überschreitet. Als Mindestwert für einen einwandfreien Fernsehempfang ist in der Funk-Entstörungsordnung ein Störspannungsabstand von 46 dB (= 200:1) festgelegt.
Voraussetzung für das Eingreifen des Funk-Entstörungsdienstes ist ein technisch einwandfreier Zustand der gestörten Empfangsanlage. Dazu gehört auch – zumindest bei Fernsehempfangsanlagen – eine zweckentsprechende und vorschriftsmäßig installierte Außenantenne.

6.2.1. Störungen durch Oszillator-Oberwellen

Die Oberwellen von Schwingungserzeugern (Oszillatoren) können – sofern sie in die Fernseh-Empfangsbereiche fallen –

erhebliche Moirés verursachen. Ihre Erscheinungsform auf dem Bildschirm ist sehr vielgestaltig; sie reicht von netzartigen Musterungen über furnierartige Maserung bis zur Balkenbildung. Als Störquellen sind Hochfrequenz-Heilgeräte (Diathermiegeräte) und sonstige, auch industriell genutzte Hochfrequenzgeneratoren möglich. Obwohl solche Anlagen der Entstörungspflicht unterliegen, kann es vorkommen, daß als Folge von oft nichterkannten Defekten Störwellen abgestrahlt werden. Häufiger sind Bildstörungen, die sich durch ältere UKW-Rundfunkempfänger und Selbstbauempfänger ergeben. Bedingt durch den Aufbau solcher Geräte, gelangen die Oberwellen des Oszillators zur Empfangsantenne und werden von dieser ausgestrahlt. Bekanntlich liegt die Oszillatorfrequenz des UKW-Teils von Rundfunkempfängern um 10,7 MHz über dem Frequenzbereich des UKW-Rundfunks. Lediglich bei einigen älteren UKW-Hörrundfunkempfängern der Industrie schwingt der Oszillator um den Wert der ZF unterhalb des Empfangsbereichs. Der Oszillator schwingt deshalb je nach Sendereinstellung zwischen 98,2 und 110,7 MHz. Die erste Oberwelle des Oszillators (196,4 bis 221,4 MHz) kann daher Moiré in den Kanälen 8 bis 11 des Fernsehbereichs III verursachen. Desgleichen stört eventuell ein auf den Bereich I abgestimmter Fernsehempfänger in einem benachbarten Gerät mit seinen Oszillatoroberwellen die Kanäle 5 bis 10. Im Bereich IV/V sind die Kanäle 21 bis 26 und 42 bis 58 durch Oberwellen von auf Band III abgestimmten Fernsehempfängern gefährdet. Mitunter können sich auch Oberwellen höherer Ordnungszahl, die in der Nähe starker kommerzieller Sender auftreten, störend auswirken.

In allen Fällen sollte die kostenlose Hilfe des Funk-Entstörungsdienstes der Deutschen Post in Anspruch genommen werden. Einige Versuche zur Minderung solcher Oszillatorstörungen sind wenig erfolgversprechend, zumal es kaum möglich ist, ohne entsprechende Meßeinrichtungen die Herkunft der Störungen zu lokalisieren.

6.2.2. Störungen durch Funkenbildung

Jeder Spannungsüberschlag mit Funken- oder Lichtbogenbildung verursacht die Ausbildung gedämpfter elektromagnetischer Schwingungen sehr breiter Frequenzbereiche. Sie verursachen beim Tonempfang Knack- und Prasselgeräusche, beim Fernseh-Bildempfang sind sie durch weiße oder schwarze Punktreihen gekennzeichnet, die waagerecht über den Bildschirm laufen. Bei sehr starken Funkenstörungen kann die Bildsynchronisation ausfallen. Zündfunkenstörungen von Otto-Motoren sind häufig. Obwohl in der DDR eine gesetzliche Entstörungspflicht für Kraftfahrzeug-Otto-Motoren besteht, werden von fehlerhaften oder unvollkommen entstörten Fahrzeugen oft Zündfunkenstörungen hervorgerufen. Selbst vorschriftsmäßig entstörte Fahrzeuge können den Fernsehempfang noch beeinträchtigen, und zwar dann, wenn die Fernsehantenne in unmittelbarer Nähe einer verkehrsreichen Straße montiert wird.

An Stromabnehmern von elektrischen Bahnen und Obussen entstehen Lichtbögen. Schadhafte Isolatoren von Hochspannungsleitungen können durch Koronaeffekt (Sprüherscheinung) besonders bei Nebel dauernde Überschläge auslösen. Wackelkontakte in elektrischen Hausinstallationen, schadhafte elektrische Hausgeräte, wie Küchenmaschinen und Elektrorasierer, sind weitere Störquellen. Obwohl die Elektrogeräte bereits vom Hersteller entstört werden müssen, kommt es häufig vor, daß die Entstörungsbauteile durch bestimmte Einflüsse unwirksam geworden sind. Trotz gesetzlich vorgeschriebener Entstörungsmaßnahmen entsteht in dichtbesiedelten und verkehrsreichen Wohngebieten ein mehr oder weniger starker Störnebel, der sich aus einer Vielzahl kleiner und meist nur kurzzeitig wirksamer Störquellen zusammensetzt.

Da die örtlich bedingten Störungen den Empfänger fast immer über die Antenne erreichen, sollte dieser Umstand bereits bei der Auswahl des Antennenstandorts berücksichtigt werden. Deshalb beachte man folgende Hinweise:

Antenne möglichst weit entfernt von örtlichem Störnebel aufstellen, d. h., im Normalfall wird nur eine Außenantenne auf dem Hausdach in Frage kommen.

Scharfbündelnde Antennen mit großem Antennengewinn und schmalem vertikalem Öffnungswinkel sind immer richtig. Der große Antennengewinn ergibt hohe Nutzspannung und damit großen Störspannungsabstand. Der schmale vertikale Öffnungswinkel unterdrückt die Aufnahme der von unten aus dem Störnebel einfallenden Störstrahlung. In schwierigen Fällen verwende man Mehretagenantennen, das sind z. B. zwei gleichartige Yagi-Antennen, in einem Abstand von $> \lambda/2$ senkrecht übereinandergestockt. Diese vertikal gestockten Antennen haben einen besonders kleinen vertikalen Öffnungswinkel.

Treten auch bei einwandfreier Außenantennenanlage starke örtlich bedingte Störungen auf, so verständige man den Funk-Entstörungsdienst der Deutschen Post.

7. Die Eingangsspannung

Jeder Fernsehempfänger benötigt für einwandfreie Bildwiedergabe eine bestimmte Mindest-Eingangsspannung. Nicht allgemein bekannt ist, daß auch zu große Eingangsspannungen die Bildqualität nachteilig beeinflussen.

7.1. Zu geringe Eingangsspannung

Ist die Eingangsspannung sehr gering, so muß die Verstärkung des Empfängers voll aufgeregelt werden. Vom Rundfunkempfänger her wird bekannt sein, daß mit steigender Verstärkung ein wachsendes Rauschen auftritt. Dieses Rauschen schwillt schließlich so an, daß ein sehr schwacher Sender in dem Rauschen untergeht. Auch beim Fernsehempfang tritt das Rauschen als Folge zu geringer Eingangsspannung auf. Auf dem Bildschirm ist es als *Schnee* oder *Grieß* zu erkennen.
Das am Ausgang eines Empfängers vorhandene Grundrauschen stellt ein Produkt verschiedener Rauschquellen dar, die sowohl innerhalb als auch außerhalb des Empfängers liegen. Man unterscheidet deshalb zwischen dem kosmischen Rauschen (aus dem Weltall kommend) und dem Empfängerrauschen (im Empfänger erzeugt). Das Empfängerrauschen hat seine Ursache in der *Brown*schen Molekularbewegung bzw. im Schroteffekt der ersten Röhrenstufe. Die *Brown*sche Molekularbewegung erklärt sich daraus, daß die zwischen den Molekülen befindlichen freien Elektronen in eine unregelmäßige Bewegung geraten, sobald die Temperatur über 0 °K (null Grad *Kelvin* = absoluter Nullpunkt), entsprechend – 273 °C, ansteigt. Der Schroteffekt ist eine der Ursachen des Röhrenrauschens bei mittleren und hohen Frequenzen. Zur Veranschaulichung mag man sich vorstellen, daß die Elektronen nicht in gleichmäßigen Zeitabständen auf die Anode prallen. Der Anodenstrom stellt einen zeitlichen Durchschnittswert dar.

So gering die Abweichungen gegenüber dem mittleren Wert auch sind, so werden sie doch bei entsprechend großer Verstärkung hör- bzw. sichtbar. Diese unregelmäßige Elektronenbewegung kann als eine Kombination zahlloser Wechselströme ungleicher Frequenzen angesehen werden; sie ergibt in unseren Empfängern ein unerwünschtes Rauschen. Die erzeugte Rauschspannung ist direkt abhängig von der Temperatur, dem ohmschen Widerstand und der Bandbreite. Sämtliche — auch die im erweiterten Sinne dazugehörenden — Wirkwiderstände rauschen. Darunter fallen in erster Linie Röhren und Resonanzkreise. Jede Rauschquelle kann man durch einen äquivalenten Widerstand ersetzen, an dem die gleiche Rauschspannung erzeugt wird. Insbesondere bei Empfängerröhren ist der äquivalente Rauschwiderstand eine sehr wichtige und gebräuchliche Kennzeichnung der Rauscheigenschaften.
Wir sind heute in der Lage, Meterwellen beliebig zu verstärken. Der Verstärkung ist lediglich durch das Empfängerrauschen eine Grenze gesetzt, da es ebenfalls mitverstärkt wird. Entscheidend für das Eigenrauschen eines Empfängers ist der äquivalente Rauschwiderstand der Eingangsröhre. Die Entwicklung der Spanngittertechnik im Röhrenbau hat es mit sich gebracht, daß moderne Fernsehempfänger heute mit Eingangsröhren bestückt werden, die einen sehr geringen äquivalenten Rauschwiderstand haben. Diese Empfänger sind rauschärmer als ältere Ausführungen und kommen mit geringen Eingangsspannungen aus.

7.1.1. Antennenverstärker

Manche Fernsehteilnehmer glauben, in einem Antennenverstärker das Allheilmittel gegen zu geringe Nutzspannung gefunden zu haben. Tatsächlich ist aber der Einsatz eines Antennenverstärkers bei einer Einzelempfangsanlage nur in bestimmten Sonderfällen sinnvoll.
Handelsübliche Antennenverstärker für die Fernsehbereiche liefern, je nach Ausführung und Bereich, Spannungsverstärkungen zwischen etwa 20 dB (= 10fach) und 36 dB (= 60fach). In Abhängigkeit von der verwendeten Eingangsstufe werden

leider auch von einem Antennenverstärker Rauschleistungen erzeugt, die sich von denen der Eingangsstufe moderner Fernsehempfänger kaum unterscheiden. Das Verhältnis von Nutzspannung zu Rauschspannung am Empfängereingang wird deshalb durch das Vorschalten eines Antennenverstärkers nicht verbessert. Die erhebliche Verstärkung bringt wohl einen besseren Bildkontrast und stabilere Bildsynchronisation, gleichzeitig werden aber auch die *Schneeflocken* im Bild viel gröber, so daß man kaum eine Empfangsverbesserung erreicht. Daraus geht hervor, daß ein Antennenverstärker nur dann eine merkliche Verbesserung der Bildqualität bringt, wenn der vor ein veraltertes Fernsehgerät gesetzt wird, dessen Eingangsröhre viel stärker als die des Antennenverstärkers ist, oder wenn man den Antennenverstärker unmittelbar am Antennenfußpunkt *vor* der Antennenenergieleitung anbringt. Dieser zuletztgenannte Fall ist im nächsten Absatz eingehender behandelt. Ein Antennenverstärker eignet sich weiterhin dazu, die Empfindlichkeit ausgesprochener Fernseh-Nahempfänger zu vergrößern.
Die ideale Einsatzmöglichkeit für Antennenverstärker ist gegeben, wenn große Kabelverluste durch eine sehr lange Speiseleitung auftreten. Das kann häufig bei abgesetzt errichteten Antennen der Fall sein. Ein Beispiel dafür ist in Bild 7.1. skizziert. Hier wohnt der Fernsehteilnehmer an einem senderabgewandten Berghang; eine Empfangsmöglichkeit ergibt sich von dort aus nicht. Auf einem 100 m entfernten Berggrat herrschen dagegen gute Empfangsbedingungen, und am Fußpunkt einer dort errichteten Antenne mögen 500 μV Nutzspannung zur Verfügung stehen. Leider treten in der 100 m langen Antennenzuführung erhebliche Leitungsverluste auf. Wird als Speiseleitung beispielsweise ein Koaxialkabel Typ 60-4-1 verwendet, so kann man aus Tafel 13, Teil I, für eine Frequenz von 200 MHz eine Dämpfung von 17 dB je 100 m ersehen. Damit würden am Empfängereingang nur noch rund 70 μV zur Verfügung stehen. Ein handelsüblicher Antennenverstärker (z. B. Typ AMV2 des VEB Antennenwerk Bad Blankenburg) hat eine Verstärkung von 26 dB. Er könnte demnach nicht nur die Kabelverluste ausgleichen, sondern

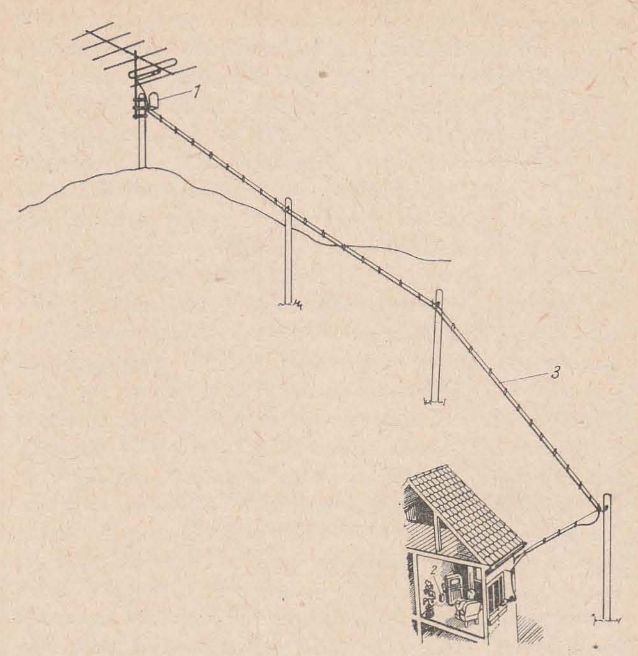


Bild 7.1. Abgesetzte Antenne mit Antennenmastverstärker; 1 — Mastverstärker, 2 — Speisegerät für Mastverstärker, 3 — Koaxialkabel, am Spanndraht befestigt

bringt darüber hinaus noch eine Verstärkung von 9 dB (26 dB − 17 dB = 9 dB). Am Eingang des Empfängers würde somit eine Spannung von 1410 μV zur Verfügung stehen.
Ein Antennenverstärker soll immer in unmittelbarer Nähe der Antenne angebracht werden, da sich hierbei ein günstigeres Signal/Rausch-Verhältnis als bei einer Verstärkung am Kabelende ergibt. Den Beweis dafür kann man aus dem vorherigen Beispiel ableiten. Angenommen, das Eingangsrauschen des Antennenverstärkers entspräche einer Rauschspannung von 5 μV am Verstärkereingang. Schaltet man nun den Verstärker am empfängerseitigen Kabelende an, so sind dort — bedingt durch die Kabelverluste — nur noch 70 μV Nutzspannung

vorhanden. Der Signal/Rausch-Abstand beträgt in diesem Fall 70:5 = 14:1 = 23 dB. An diesem Verhältnis ändert sich auch am Verstärkerausgang nichts, denn sowohl die Nutzspannung als auch die Rauschspannung werden auf den 20fachen Wert (= 26 dB) verstärkt. Das ergibt 1400 μV Nutzspannung und 100 μV Rauschspannung am Eingang des Fernsehempfängers. Schaltet man den Antennenverstärker dagegen direkt an die Antenne an, so erhält er die volle Antennenspannung von 500 μV, der eine Eingangsrauschspannung von 5 μV gegenübersteht. Der Rauschabstand beträgt hier 500:5 = 100:1 = 40 dB. Dieser große Rauschabstand bleibt auch nach Verstärkung und Kabeldämpfung erhalten, so daß am Eingang des Fernsehempfängers ebenfalls 1400 μV Nutzspannung, jedoch nur 14 μV Rauschspannung vorhanden sind. Die Industrie stellt besondere Antennenmastverstärker her, die sich für die Montage im Freien eignen (z. B. Typ AMV2 des VEB Antennenwerk Bad Blankenburg). Sie benötigen keine besondere Zuleitung für die Speisespannung, da diese als ungefährliche Kleinspannung dem Verstärker direkt über das Antennenkabel zugeführt wird. Hierzu dient ein besonderes Speisegerät, das man neben dem Fernsehempfänger aufstellt und das mit diesem gemeinsam ein- und ausgeschaltet werden kann. Dadurch bleiben Röhrenverschleiß und Stromverbrauch sehr gering.

Transistorisierte Antennenverstärker sind praktisch verschleißfest, ihr Stromverbrauch ist äußerst gering, außerdem sind sie besonders rauscharm. Der röhrenbestückte Antennenverstärker wird deshalb zunehmend vom Transistorverstärker verdrängt.

Abgesetzte Antennen mit langer Zuleitung sollten unbedingt über Koaxialkabel angeschlossen werden. UKW-Bandleitung eignet sich nicht, da sie alterungsunbeständig ist und die Dämpfung unter dem Einfluß der Witterung sehr ansteigt. Koaxialkabel befestigt man zweckmäßig an einem Spanndraht mit Hilfe passender Spanndrahtklemmen.

Aus dem Gesagten geht hervor, daß Antennenverstärker nur dann sinnvoll sind, wenn Verluste, die innerhalb der Gesamtanlage entstehen, ausgeglichen werden sollen. Grundsätzlich

muß bereits am Antennenspeisepunkt eine bestimmte Mindestnutzspannung vorhanden sein, die ein ausreichendes Signal/Rausch-Verhältnis gewährleistet. Ist diese Mindestnutzspannung nicht vorhanden, so kann sie nur durch ein Verbessern der Antenne selbst erreicht werden. Deshalb genügt es manchmal schon, wenn eine Antenne mit größerem Gewinn eingesetzt wird. In schwierigen Empfangslagen kann ein günstigerer Antennenstandort den Erfolg bringen. Befindet sich dieser günstige Antennenaufbauort in einiger Entfernung, so können die dabei auftretenden Verluste im Zuführungskabel durch einen Antennenverstärker ohne Verschlechterung des Signal/Rausch-Verhältnisses ausgeglichen werden.
Für eine völlig rauschfreie Bildwiedergabe wird eine Nutzspannung gefordert, die um etwa 40 dB über der Rauschspannung liegt (Verhältnis 100:1). Bei einem Rauschabstand von 30 dB (= 31,6:1) kann die Bildqualität noch als brauchbar bezeichnet werden. Fällt der Rauschabstand unter 20 dB (10:1), so ist das Bild stark verrauscht, und es genügt nur noch bescheidensten Ansprüchen.
Gelegentlich kommt es vor, daß man mit einer Antennenanlage, die bisher eine ausreichende Nutzspannung an den Empfänger lieferte, plötzlich ein verrauschtes Bild empfängt. In solchen Fällen sind mechanische Fehler an der Antennenanlage zu vermuten. Es ist z. B. möglich, daß sich die Antenne durch starken Wind aus der Richtung gedreht hat. Erfahrungsgemäß kann sich dabei auch das Standrohr der Antenne selbst drehen, wenn die Halteschrauben der Schellen nicht fest genug angezogen waren oder – wie teilweise beobachtet wird – diese Schrauben mit dem Hammer in das Gebälk getrieben wurden. Bei unsachgemäßer Montage des Antennenkabels können auch Drahtbrüche – besonders an den Klemmstellen – vorkommen. Manche Koaxialkabel sind nicht längswasserdicht; ist Regenwasser in das Kabelinnere eingedrungen, so wird das Kabel unbrauchbar. Solche Antennenkabel lassen sich auch durch Austrocknen nicht mehr retten; sie sind schrottreif!

7.2. Zu große Eingangsspannung

In manchen Fällen wird dem Empfängereingang eine zu große Nutzspannung zugeführt. Das geschieht vorwiegend in der Nachbarschaft starker Fernsehsender. Die Folge ist eine Übersteuerung der Empfängereingangsstufe, die sich in einem verringerten Bildkontrast sowie durch das Auftreten sogenannter Intermodulationsstörungen zwischen Bild- und Tonträger äußert. Intermodulationsstörungen werden in Form von horizontalen Streifen auf dem Bildschirm sichtbar, die sich im Rhythmus der Tonmodulation bewegen („Ton im Bild“). Außerdem kann durch die Übersteuerung ein Abschneiden der Synchronimpulse erfolgen, so daß sich das Bild nicht mehr oder nur schwer einfangen läßt.
Mit Sicherheit werden solche Störungen nur unterbunden, wenn die Eingangsspannung des Fernsehempfängers 20 mV (20 Millivolt = 20000 Mikrovolt) nicht übersteigt.
Es mag hin und wieder möglich sein, die zu hohe Eingangsspannung durch eine Antenne ohne Gewinn – etwa eines einfachen Faltdipols oder einer Zimmerantenne – auf einen brauchbaren Wert herabzusetzen. Im allgemeinen treten aber in Gebieten sehr großer Feldstärken auch starke Reflexionen auf. Diese sowie alle anderen Störspannungen werden gerade von sehr einfachen und damit wenig richtungsselektiven Antennen bevorzugt aufgenommen.
Viel günstiger und technisch einwandfreier ist die Methode, überschüssige Empfangsspannungen durch einfache Dämpfungsglieder zu vernichten. Wie bereits in Abschnitt 5.3.1.2. *Unterdrückung von Reflexionen durch Dämpfung* ausgeführt, werden dabei auch alle Störspannungen im gleichen Verhältnis wie die Nutzspannung gedämpft. Dämpfungsglieder – auch Abschwächer genannt – sind einfache Widerstandskombinationen, die sich für beliebige Dämpfungswerte dimensionieren lassen. Sie können an beliebiger Stelle zwischen Antenne und Empfängereingang eingeschleift werden, da sie den Wellenwiderstand der Leitung nicht verändern. Aus praktischen Gründen schaltet man Abschwächer meist unmittelbar vor den Empfängereingang. Da es sich um einfache Widerstands-

kombinationen handelt, sind Abschwächer auch weitestgehend freqenzunabhängig. Sie eignen sich sehr gut für den Selbstbau und sollen deshalb im folgenden Abschnitt ausführlicher beschrieben werden.

7.2.1. Dämpfungsglieder

Entsprechend ihrem Verwendungszweck unterscheidet man symmetrische und unsymmetrische Dämpfungsglieder. Symmetrische Abschwächer verwendet man in Anlagen, die mit symmetrischer 240-Ω-Bandleitung gespeist werden. Sinngemäß setzt man unsymmetrische Dämpfungsglieder ein, wenn unsymmetrisches 60-Ω-Koaxialkabel benutzt wird. Einfache Dämpfungsglieder sind nur für Abschwächungen bis höchstens 20 dB (10:1) brauchbar. Werden größere Dämpfungswerte gewünscht, so muß man mehrere entsprechend bemessene Abschwächer hintereinanderschalten. Die Dämpfungswerte der Einzelglieder in dB addieren sich dann.

7.2.1.1. Symmetrische Dämpfungsglieder

In Abhängigkeit von der Art der Zusammenschaltung unterscheidet man die T-Schaltung (Bild 7.2.a) und die π-Schaltung (Bild 7.2.b). In der Wirkung sind sie identisch; man wird jedoch die Schaltung bevorzugen, die bei dem gewünschten Abschwächungsgrad jeweils die gängigsten und handelsüblichen Widerstandswerte erfordert.

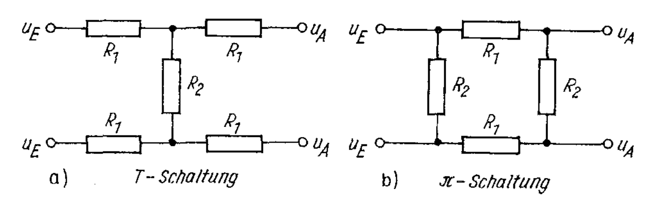


Bild 7.2. Symmetrische Dämpfungsglieder; a — T-Schaltung, b — π-Schaltung

Die Berechnung der Einzelwiderstände ist aus dem Kirchhoffschen Gesetz abgeleitet. Für ein symmetrisches Dämpfungsglied in T-Schaltung ergeben sich die Widerstandswerte für R_1 und R_2 aus den Formeln

$$R_1 = \frac{Z\,(a-1)}{2\,(a+1)}, \tag{23}$$

$$R_2 = \frac{2\,Z\,a}{a^2-1}\;; \tag{24}$$

Z = Eingangs- und Ausgangswiderstand des Dämpfungsgliedes in Ohm, a = Quotient aus Eingangs- und Ausgangsspannung (Abschwächungsverhältnis).

Beispiel

Am 240-Ω-Empfängereingang sind 5 mV Eingangsspannung vorhanden. Diese Spannung soll durch ein symmetrisches Dämpfungsglied in T-Schaltung auf 1 mV herabgesetzt werden. Der Abschwächungsquotient a ergibt sich aus dem Verhältnis Eingangsspannung/Ausgangsspannung = 5 : 1 = 5. Z ist mit 240 Ω vorgegeben.

$$R_1 = \frac{240 \cdot (5-1)}{2 \cdot (5+1)} = \frac{960}{12} = 80\,\Omega,$$

$$R_2 = \frac{2 \cdot 240 \cdot 5}{5^2-1} = \frac{2400}{24} = 100\,\Omega.$$

Die nachstehende Aufstellung enthält die errechneten Werte der Längswiderstände R_1 und des Querwiderstands R_2 für symmetrische T-Abschwächer mit einem Eingangs- und Ausgangswiderstand von 240 Ω. Das Abschwächungsverhältnis ist zusätzlich in Dezibel angegeben (s. S. 45).

Für die Berechnung eines symmetrischen Dämpfungsglieds in π-Schaltung nach Bild 7.2.b gelten die Formeln

$$R_1 = \frac{Z\,(a^2-1)}{4a}, \tag{25}$$

$$R_2 = \frac{Z\,(a+1)}{a-1}\,. \tag{26}$$

Symmetrische Abschwächer in T-Schaltung (Bild 7.2.a);
Z = 240 Ω.

Verhältnis in dB	U_E/U_A a	R_1 in Ω	R_2 in Ω
1	1,122	6,9	1858
2	1,259	13,8	1050
3	1,413	20,5	680
4	1,585	27,1	503,8
5	1,778	33,6	390,5
6	1,995	39,9	355
7	2,24	46	267,6
8	2,51	51,6	227,3
9	2,82	57,2	194,7
10	3,16	62,3	168,8

Nachstehend werden die errechneten Werte für symmetrische Dämpfungsglieder in π-Schaltung aufgeführt. Auch sie beziehen sich auf einen Eingangs- und einen Ausgangswiderstand von 240 Ω.
Symmetrische Abschwächer in π-Schaltung (Bild 7.2.b);
Z = 240 Ω.

Verhältnis in dB	U_E/U_A a	R_1 in Ω	R_2 in Ω
1	1,122	13,8	4175
2	1,259	27,9	2093
3	1,413	42,3	1402
4	1,585	57,3	1060
5	1,778	72,9	857
6	1,995	90	723
7	2,24	107,6	627
8	2,51	126,7	558
9	2,82	148	503
10	3,16	171	462

7.2.1.2. Unsymmetrische Dämpfungsglieder

Unsymmetrische Dämpfungsglieder verwendet man in Anlagen mit erdunsymmetrischem Aufbau. Das sind z. B. alle Antennenanlagen, für die Koaxialkabel als Speiseleitung benutzt wird.

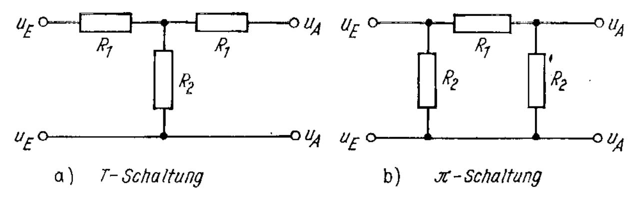


Bild 7.3. Unsymmetrische Dämpfungsglieder; a — T-Schaltung, b — π-Schaltung

Natürlich stellen praktisch alle Fernsehantennen symmetrische Gebilde dar. Um aber das in vieler Hinsicht vorteilhaftere, jedoch unsymmetrische Koaxialkabel als Speiseleitung verwenden zu können, fügt man meist am Antennenfußpunkt einen Symmetriewandler ein (s. Teil I, Abschnitt 3.3.). Abschwächer, die in Verbindung mit einem koaxialen Speisekabel eingesetzt werden, müssen deshalb in Anpassung an das Koaxialkabel einen unsymmetrischen Aufbau haben.
Auch bei den unsymmetrischen Abschwächern unterscheidet man die T-Schaltung (Bild 7.3.a) und die π-Schaltung (Bild 7.3.b). Für ein unsymmetrisches Dämpfungsglied in T-Schaltung ergeben sich die Widerstandswerte für R_1 und R_2 aus den Formeln

$$R_1 = \frac{Z\,(a-1)}{a+1}\,, \tag{27}$$

$$R_2 = \frac{2 \cdot Z \cdot a}{a^2 - 1}\,. \tag{28}$$

Die verwendeten Symbole haben die gleiche Bedeutung wie in den Formeln (23) und (24).
Für moderne Fernsehantennenanlagen, die unsymmetrisch gespeist sind, verwendet man gegenwärtig noch Koaxialkabel mit dem Wellenwiderstand von 60 Ω. Deshalb beziehen sich auch die in nachstehender Aufstellung errechneten Widerstandswerte R_1 und R_2 für die unsymmetrische T-Schaltung auf einen Eingangs- und einen Ausgangswiderstand Z von 60 Ω.

Unsymmetrische Abschwächer in T-Schaltung (Bild 7.3.a); $Z = 60\,\Omega$.

Verhältnis in dB	U_E/U_A a	R_1 in Ω	R_2 in Ω
1	1,122	3,5	520
2	1,259	6,9	258
3	1,413	10,3	170
4	1,585	13,6	126
5	1,778	16,8	98,8
6	1,995	20	80,3
7	2,24	23	67
8	2,51	25,8	57
9	2,82	28,6	48,7
10	3,16	31,2	42,2

Für die Berechnung eines unsymmetrischen Dämpfungsglieds in π-Schaltung nach Bild 7.3.b gelten die Formeln

$$R_1 = \frac{Z\,(a^2 - 1)}{2\,a}, \tag{29}$$

$$R_2 = \frac{Z\,(a + 1)}{a - 1}. \tag{30}$$

Nachstehend werden die errechneten Werte für unsymmetrische Dämpfungsglieder in π-Schaltung aufgeführt. Auch sie beziehen sich auf einen Eingangs- und einen Ausgangswiderstand von $60\,\Omega$.

Unsymmetrische Abschwächer in π-Schaltung (Bild 7.3.b); $Z = 60\,\Omega$.

Verhältnis in dB	U_E/U_A a	R_1 in Ω	R_2 in Ω
1	1,122	6,9	1043
2	1,259	13,9	523
3	1,413	22	350
4	1,585	28,6	265
5	1,778	36,5	214
6	1,995	44,8	181
7	2,24	50	155
8	2,51	63,4	140
9	2,82	70	120
10	3,16	85	115

Da die Dämpfungsglieder auch noch bei Frequenzen bis 250 MHz ihre Kennwerte einhalten müssen, werden an die zu verwendenden Widerstände und an den Aufbau einige Anforderungen gestellt. Ein Widerstand, der im Kurzwellenbereich durchaus noch als annähernd reiner Wirkwiderstand zu betrachten ist, kann bei den Frequenzen des Bereichs III bereits komplexen Charakter annehmen, d. h., der ohmsche Widerstand (Nennwert) wird in Abhängigkeit von der Frequenz zusätzlich noch mit einem induktiven und einem kapazitiven Blindwiderstand beaufschlagt. Hinzu kommt ein ebenfalls mit der Frequenz wachsender Verlustwiderstand durch den Skineffekt.

Aber auch Schaltdrähte haben entsprechend ihrer Länge und Dicke induktive und kapazitive Blindwiderstände, die bei den hohen Frequenzen der Fernsehbereiche nicht mehr vernachlässigt werden dürfen.

Ohne auf die Theorie ausführlicher einzugehen, können für die Herstellung von ohmschen Dämpfungsgliedern für die Fernsehbereiche folgende praktische Regeln gegeben werden:

- Man verwende Widerstände mit $^1/_4$, $^1/_8$ oder $^1/_{10}$ W Belastbarkeit. Drahtgewickelte Widerstände sind unbrauchbar. Kappenlose Schichtwiderstände haben eine besonders geringe Eigenkapazität; am besten eignen sich UKW-Schichtwiderstände.
- Keinen Schaltdraht verwenden, möglichst nur mit den Widerständen selbst schalten. Jeder Zentimeter Draht bringt schädliche Induktivitäten und Kapazitäten in die Schaltung. Deshalb sollen auch die Zuleitungen zum Dämpfungsglied möglichst kurz gehalten werden.
- Kapazitätsarm aufbauen, d. h., die Widerstände dürfen sich gegenseitig nicht oder nur sehr wenig beeinflussen. Deshalb die Widerstände möglichst rechtwinklig zueinander anordnen.

8. Gemeinschafts-Antennenanlagen

Ein Blick auf die Dächer größerer Wohngebiete zeigt oft einen wahren Antennendschungel, der aus mehr oder — zumeist — weniger fachmännisch errichteten Fernseh- und UKW-Rundfunkantennen besteht. Solche Antennenanhäufungen können bestenfalls als ein äußeres Zeichen des ständig wachsenden Wohlstands unserer Bevölkerung betrachtet werden, bringen aber ansonsten nur Nachteile. Oft sind Beschädigungen der Dachhaut zu verzeichnen, Schornsteinfeger haben Sorgen, weil die Begehbarkeit der Dächer immer mehr behindert ist, und Fachleute erfaßt oft das Grausen beim Anblick dessen, was vielfach als *Blitzerde* einer Antenne bezeichnet wird.
Aber auch der Fernsehteilnehmer selbst kommt häufig zu keinem ungetrübten Genuß der Sendungen, denn die gegenseitige Annäherung vieler Antennen birgt manche Störungsmöglichkeiten. Die Oszillatoren der Fernsehempfänger, und besonders die von UKW-Rundfunkempfängern, strahlen mit der Grundfrequenz und einem Spektrum von Oberwellen mehr oder weniger stark über die angeschlossene Antenne aus. Von den umliegenden Antennen im Nahfeld wird diese unerwünschte Strahlung aufgenommen. Sie führt — abhängig von der eingestellten Empfangsfrequenz — zu Moiré in den Nachbargeräten. Aus dieser immer schwieriger werdenden Situation gibt es jedoch einen günstigen Ausweg: Es ist möglich, von einer zentralen Antenne aus beliebig viele Fernseh- und Rundfunkteilnehmer störungsfrei mit ausreichender Empfangsspannung durch eine Gemeinschafts-Antennenanlage zu versorgen. Es läßt sich beweisen, daß eine Gemeinschafts-Antennenanlage nicht nur hinsichtlich des störungsfreien Empfangs, sondern auch bezüglich des Kostenaufwands erheblich günstigere Eigenschaften aufweist als eine Vielzahl von Einzelantennen. Da größere Gemeinschafts-Antennenanlagen immer von Fachbetrieben errichtet werden, ist auch die Gewähr dafür gegeben, daß die Anlage in allen Teilen den Ge-

setzen, Verordnungen und Sicherheitsbestimmungen entspricht.

8.1. Mehrere Fernsehempfänger an einer Antenne

Oftmals besteht der Wunsch, innerhalb einer Hausgemeinschaft zwei oder mehr Fernsehempfänger an eine bestehende Einzel-Antennenanlage anzuschließen; das ist die einfachste Form einer Gemeinschafts-Antennenanlage. Unter der Voraussetzung, daß die Antenne eine große Nutzspannung abgibt, lassen sich verhältnismäßig einfach mehrere Teilnehmer ohne das Zwischenschalten eines Antennenverstärkers gleichzeitig versorgen.

Werden mehrere Fernsehgeräte von einer Antenne gemeinsam gespeist, so kann jeder Empfänger nur den Bruchteil der am Antennenspeisepunkt vorhandenen Empfangsenergie erhalten, der sich aus der Teilung der Gesamtenergie durch die Anzahl der versorgten Empfangsgeräte ergibt. Um gegenseitiges Stören der angeschlossenen Empfänger zu unterbinden, sind noch zusätzlich Entkopplungsmittel notwendig, die einen beträchtlichen Energieverlust verursachen. Dieser ist um so größer, je besser die Empfänger voneinander entkoppelt werden. Beim Zusammenschalten mehrerer Fernsehempfänger verwendet man frequenzunabhängige Entkopplungsmittel, die aus ohmschen Widerständen bestehen. In einer kleinen, verstärkerlosen Antennenanlage, die – je nach vorhandener Antennenspannung – bis zu etwa vier Teilnehmer versorgen kann, bevorzugt man die sternförmige Verteilung. Sie ist in Bild 8.1.a für unsymmetrische Leitungen (Koaxialkabel) und in Bild 8.1.b als symmetrische Verteilung (Bandleitung) dargestellt. Die Größe der Widerstände R hängt von der Anzahl n der vorgesehenen Verbraucherabgänge ab und errechnet sich aus

$$R = Z \frac{n-1}{n+1}. \qquad (31)$$

Für Z ist der Wellenwiderstand der Antennenniederführung

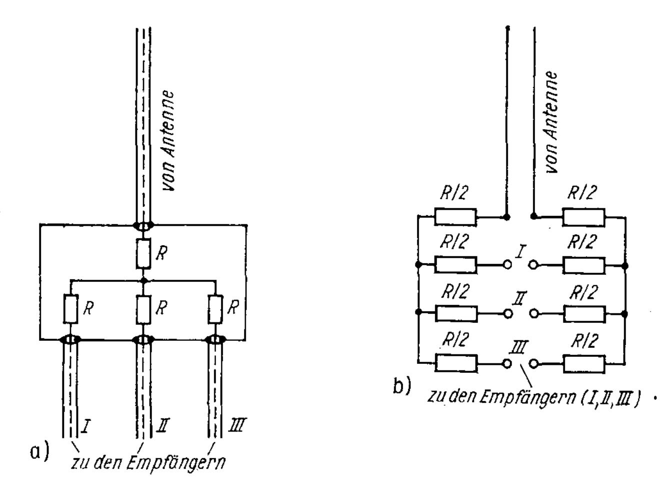


Bild 8.1. Antennenverteiler in Sternschaltung; a — unsymmetrisch (Koaxialkabel), b — symmetrisch (Bandleitung)

einzusetzen, wobei vorausgesetzt wird, daß die Abgänge zu den Empfängern den gleichen Wellenwiderstand haben.

Beispiel

An eine Fernsehantenne mit Koaxialkabel-Niederführung (Z = 60 Ω) sollen drei Empfänger angeschlossen werden. Die Widerstandswerte R für das Verteilernetzwerk betragen nach (31)

$$R = 60 \frac{3-1}{3+1} = 30\,\Omega.$$

Bei einer symmetrischen Anlage mit Speisung durch Bandleitung (240 Ω) ist R/2 zu ermitteln, da sich R jeweils symmetrisch auf beide Zweige verteilt. Auch in diesem Fall gilt Formel (31).

Beispiel

Eine Fernsehantenne mit symmetrischer Ableitung (240 Ω) soll für zwei Empfänger gemeinsam genutzt werden. Nach Bild 8.1.b ist R/2 zu ermitteln.

$$R = 240 \frac{2-1}{2+1} = 80\,\Omega;$$

somit $R/2 = 40\,\Omega$.

Unter der Voraussetzung, daß die Eingangswiderstände der angeschlossenen Empfänger untereinander gleich und gleich dem Wellenwiderstand der Antennenableitung sind, verteilt sich die Antennenspannung gleichmäßig auf die einzelnen Verbraucher. Bei zwei Empfängern könnte demnach – wenn die Verteilung völlig verlustlos erfolgen würde – jeder Empfänger nur 50% der verfügbaren Antennenspannung erhalten. Bei drei Empfängern wären das $33^1/_3$% und bei vier Verbrauchern 25%. Ist n die Anzahl der angeschlossenen Fernsehempfänger, so verhält sich die Eingangsspannung U_e zur Ausgangsspannung U_a wie $1/n$. Außerdem entstehen im Verteilersystem durch die Widerstände erhebliche Verluste; hinzu kommen noch die längenabhängigen Kabelverluste. Deshalb hat eine verstärkerlose Gemeinschafts-Antennenanlage nur dann einen Sinn, wenn am Antennenfußpunkt mehrere Millivolt Spannung zur Verfügung stehen. Das ist jedoch im Versorgungsgebiet starker Fernsehsender sehr oft der Fall.

Eine weitere Möglichkeit der Verteilung stellt das sogenannte Durchschleifverfahren dar, das in größeren Gemeinschafts-Antennenanlagen vorwiegend verwendet wird. Bild 8.2. zeigt diese Methode bei einer Stammleitung, die aus einem 60-Ω-Koaxialkabel besteht.

In einer verstärkerlosen Anlage mit z. B. drei Teilnehmern ist diese Stammleitung das von der Antenne kommende Koaxialkabel, das bis zu dem am weitesten entfernten Verbraucher geführt wurde. Das Kabelende muß mit seinem Wellenwiderstand abgeschlossen werden, d. h., der Innenleiter wird mit dem Außenleiter über einen 60-Ω-Widerstand verbunden. Etwa 80 cm bis 100 cm vom Abschlußwiderstand entfernt, zapft man den Kabel-Innenleiter an und stellt über einen Entkopplungswiderstand den Anschluß III her. In gleicher Weise werden in entsprechender Entfernung die Anschlüsse II und I geschaffen.

Die Entkopplung zwischen den einzelnen Empfängern wird um

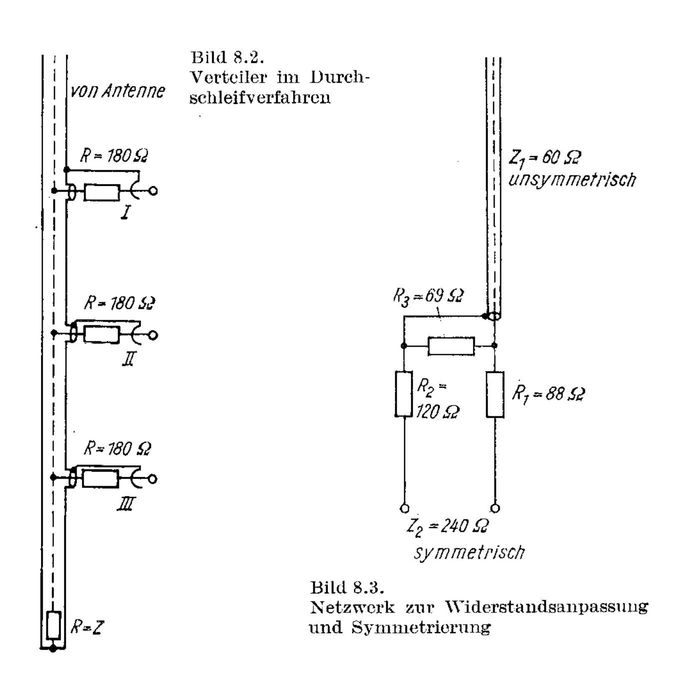


Bild 8.2.
Verteiler im Durchschleifverfahren

Bild 8.3.
Netzwerk zur Widerstandsanpassung und Symmetrierung

so besser, je größer der Entkoppelwiderstand bemessen ist. Damit steigt aber auch die Dämpfung durch den Widerstand, denn schließlich stellt die Entkopplung in dieser Art eine Folge der Dämpfung dar. Andererseits ist gerade in verstärkerlosen Anlagen nur eine begrenzte Antennenspannung vorhanden. Man wählt deshalb unter Verzicht auf völlige Entkopplung möglichst kleine Widerstandswerte. Als Faustregel zum Ermitteln des kleinstmöglichen Entkoppelwiderstands gilt, daß der Widerstandswert, der sich aus der Parallelschaltung aller Entkoppelwiderstände ergibt, nicht kleiner als 0,7 Z sein soll. Für Z ist der Wellenwiderstand der Stammleitung einzusetzen. In Bild 8.2. sind drei Entkoppelwiderstände von je 180 Ω vorgesehen, ihre Parallelschaltung ergibt 60 Ω = 1,0 Z. Es wurde demnach nicht bis an die unterste Grenze von 0,7 Z gegangen.

Auch kleinste Gemeinschafts-Antennenanlagen sollten aus-

schließlich in Koaxialkabel ausgeführt werden, weil sich diese Leitung beliebig verlegen läßt und durch den konzentrischen Außenleiter eine sehr wirksame Abschirmung hat. Ungeschirmte Bandleitungen haben diese Vorzüge nicht.
Während fast alle älteren Fernsehempfänger mit einem umschaltbaren Eingang für 240 Ω symmetrisch und 60 Ω unsymmetrisch versehen waren, ist das bei neueren Geräten meist nicht mehr der Fall. Bei den neueren Geräten wird gewöhnlich nur ein symmetrischer 240-Ω-Eingang herausgeführt. Da Gemeinschafts-Antennenanlagen vorwiegend für unsymmetrische 60-Ω-Eingänge ausgelegt sind, muß – im Fall eines symmetrischen 240-Ω-Empfängereingangs – symmetriert und auf 240 Ω transformiert werden. Dazu liefert die Antennenindustrie Breitband-Symmetriertransformatoren. Alle Fernsehempfänger lassen sich aber auch durch eine Vertragswerkstatt nachträglich mit einem unsymmetrischen 60-Ω-Eingang versehen. Wenn reichlich Nutzspannung zur Verfügung steht, kann die Widerstandsanpassung und Symmetrierung durch ein einfaches Widerstandsnetzwerk nach Bild 8.3. durchgeführt werden. Mit dieser Schaltung wird der Empfängereingang zusätzlich entkoppelt, es tritt aber auch ein Spannungsverlust von 5,5 dB auf. Damit ist dieses Netzwerk nur dann brauchbar, wenn an den einzelnen Anschlußdosen noch je mindestens 1000 μV vorhanden sind.

8.2. Mehrere Antennen an einer gemeinsamen Antennenableitung

Häufig besteht der Wunsch, mehrere Antennen gemeinsam an einer Antennenableitung zu betreiben. Das trifft meist dann zu, wenn sich neben der Fernsehantenne auch noch eine UKW-Rundfunkantenne auf dem Dach befindet oder wenn mit verschiedenen Außenantennen Fernsehempfang im Band I und Band III möglich ist. Würde man die verschiedenen Antennen einfach einander parallelschalten, so wären starke Fehlanpassungen und damit Verluste sowie Reflexionsstörungen die Folge.

Man muß deshalb die verschiedenen Antennen elektrisch so voneinander trennen, daß keine gegenseitigen Rückwirkungen auftreten. Das geschieht durch Einfügen von Filteranordnungen oder Frequenzweichen, die nur bestimmte Frequenzbereiche durchlassen und alle außerhalb des Durchlaßbereichs liegenden Frequenzen sperren. Es handelt sich dabei um Vierpole. Das sind Schaltungen, die zwei Eingangs- und zwei Ausgangsklemmen haben.

Frequenzweichen und Filter sind demnach Vierpole, die zur Übertragung hochfrequenter Energie dienen. Ihre Aufgabe ist es, diese Energie möglichst verlustlos zu übertragen; darum sollen die in ihnen enthaltenen Schaltelemente keine Wirkleistung verbrauchen. Dieser Forderung genügen Kapazitäten und Induktivitäten, die im Idealfall reine Blindwiderstände darstellen. Dieser Idealfall existiert allerdings nur in der Theorie, da Spulen und Kondensatoren immer einen gewissen Verlustwiderstand haben. In der Praxis lassen sich jedoch die ohmschen Verluste oft so klein halten, daß man sie vernachlässigen kann. Filteranordnungen werden deshalb ausschließlich aus Kapazitäten und Induktivitäten aufgebaut. Entsprechend dem Verwendungszweck sollen die in der Antennentechnik gebräuchlichen Grundfilterarten untersucht werden. Kennzeichnend für diese Filter sind ihre Durchlaß- und Sperrbereiche. Innerhalb des Durchlaßbereichs soll das Filter alle Frequenzen verlustlos übertragen, d. h., eine Hochfrequenzspannung U_e am Eingang des Vierpols muß an dessen Ausgang als U_a möglichst ungeschwächt wieder erscheinen ($U_e = U_a$). Dagegen darf das Filter innerhalb des Sperrbereichs keine oder nur sehr wenig Wirkleistung an den Verbraucher abgeben, d. h., den Frequenzen des Sperrbereichs soll der Weg zum Verbraucher versperrt werden ($U_e \gg U_a$). Der Übergang vom Durchlaßbereich zum Sperrbereich müßte im Idealfall sprunghaft erfolgen. Da die Schaltelemente jedoch nicht verlustfrei sind, erfolgt der Übergang mehr oder weniger steil. Die Frequenz, bei der der Übergang vom Sperrbereich zum Durchlaßbereich eintritt, nennt man kritische Frequenz oder Grenzfrequenz f_{gr}. Bei der kritischen Frequenz ist der induktive Widerstand gleich dem kapazitiven Widerstand des Filters.

Da sich die Filteranordnungen im Zuge angepaßter Antennenableitungen befinden, darf diese Anpassung nicht gestört werden. Eingangs- und Ausgangswiderstand des Filters müssen deshalb gleich dem Wellenwiderstand der Antennenableitung sein. Gleichzeitig soll auch die bestehende Symmetrie gewahrt bleiben.

Entsprechend dem Verwendungszweck unterscheidet man folgende Grundfilterarten:

Tiefpaß,
Hochpaß,
Bandpaß,
Bandsperre.

Bei der Berechnung von Filtern muß man von einigen prinzipiellen Gleichungen ausgehen, die in der gesamten Hochfrequenztechnik grundsätzliche Bedeutung haben. Das sind:

Kreisfrequenz

$$\omega = 2\,\pi\,f = 6{,}28\,f, \tag{32}$$

π = Konstante = 3,14; f = Frequenz;

Impedanz

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}}, \tag{33}$$

L = Induktivität, C = Kapazität;

induktiver Widerstand

$$R_L = \omega\,L\;; \tag{34}$$

kapazitiver Widerstand

$$R_C = \frac{1}{\omega\,C}\;; \tag{35}$$

Resonanzbedingung

$$\omega_{gr} L = \frac{1}{\omega_{gr} C}, \tag{36}$$

Kreisgrenzfrequenz*

$$\omega_{gr} = 2\,\pi\,f_{gr}\,.$$

* Der Ausdruck „Kreisgrenzfrequenz" ist physikalisch nicht exakt, da ein Schwingkreis nur *eine* Resonanzfrequenz, aber keine Grenzfrequenz hat. Sinnvoller wäre die Bezeichnung *Kreisfrequenz der Grenzfrequenz*.

Aus diesen Grundgleichungen können durch Umstellen neue Gleichungen gebildet werden, die eine einfache Berechnung der Filteranordnungen ermöglichen.

8.2.1. Der Tiefpaß

Ein Tiefpaß hat die Eigenschaft, von einer bestimmten Grenzfrequenz f_{gr} ab alle tiefer liegenden Frequenzen passieren zu lassen (Durchlaßbereich); alle höheren Frequenzen werden gesperrt (Sperrbereich).
In seiner einfachsten Form als unsymmetrisches Halbglied besteht der Tiefpaß nach Bild 8.4.a aus einer Längsinduktivität L und einer Querkapazität C. Die Sperrwirkung von Halbgliedern ist jedoch meist zu gering. Deshalb bevorzugt man das sogenannte Vollglied, das in Bild 8.4.b als unsymmetrische Schaltung dargestellt wurde. Wird es z. B. für eine Impedanz Z von 60 Ω bemessen, so eignet es sich für eine Antennenableitung, die aus 60-Ω-Koaxialkabel besteht (Eingangsimpedanz Z_e = Ausgangsimpedanz Z_a = Wellenwiderstand Z der Antennenableitung). Als dritte Variante zeigt Bild 8.4.c ein symmetrisches Vollglied, das bei symmetrischen Antennenableitungen (z. B. UKW-Bandleitung) Verwendung findet. Für die Berechnung eines Tiefpaß-Halbglieds werden folgende aus Gl. (33) bis (36) abgeleitete Gleichungen benötigt:

Induktivität

$$L = \frac{Z}{\omega_{gr}}, \tag{37}$$

Kapazität

$$C = \frac{1}{\omega_{gr} \cdot Z}, \tag{38}$$

L in Henry (H), Z in Ohm (Ω), ω_{gr} in Hertz (Hz), C in Farad (F).

Beispiel
Es wird ein Tiefpaß benötigt, der ab 140 MHz (= f_{gr}) alle Frequenzen sperrt und die tiefer liegenden Frequenzen durchläßt. Es handelt sich um ein unsymmetrisches Vollglied nach Bild 8.4.b mit einer Impedanz von 60 Ω.

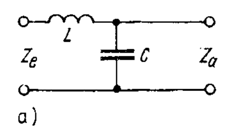
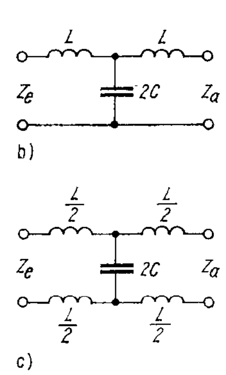


Bild 8.4.
Tiefpässe; a — unsymmetrisches Halbglied, b — unsymmetrisches Vollglied, c — symmetrisches Vollglied



Die Kreisgrenzfrequenz ω_{gr} für 140 MHz beträgt nach Gl. (32)
$\omega_{gr} = 6{,}28 \cdot 140 \cdot 10^6 = 8{,}792 \cdot 10^8$ Hz,

$$L \text{ nach Gl. (37)} = \frac{60}{8{,}792 \cdot 10^8} = 0{,}07 \cdot 10^{-6}\,\text{H} = 0{,}07\,\mu\text{H},$$

$$C \text{ nach Gl. (38)} = \frac{1}{8{,}792 \cdot 60 \cdot 10^8} = 19 \cdot 10^{-12}\,\text{F} = 19\,\text{pF}.$$

8.2.2. Der Hochpaß

Ein Hochpaß hat die Eigenschaft, von einer bestimmten Grenzfrequenz f_{gr} ab alle höheren Frequenzen durchzulassen. Alle Frequenzen, die niedriger als die Grenzfrequenz f_{gr} sind, werden gesperrt. Der Schaltungsunterschied zum Tiefpaß besteht darin, daß beim Hochpaß die Kapazität im Längsweg und die Induktivität im Querweg liegt (s. Bild 8.5.). Die beim

Tiefpaß angegebenen Berechnungsgleichungen für L (37) und C (38) haben auch für den Hochpaß Gültigkeit.

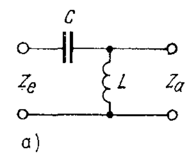
Beispiel

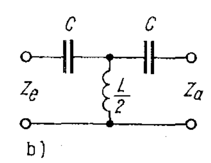
Es ist ein symmetrischer Vollglied-Hochpaß zu berechnen, dessen Grenzfrequenz f_{gr} 140 MHz beträgt. $Z = 240\,\Omega$ (Schaltung Bild 8.5.c).

Die Kreisgrenzfrequenz ω_{gr} für 140 MHz beträgt nach Gl. (32)
$\omega_{gr} = 6{,}28 \cdot 140 \cdot 10^6 = 8{,}792 \cdot 10^8$ Hz,

$$\text{L nach Gl. (37)} = \frac{240}{8{,}792 \cdot 10^8} = 0{,}273 \cdot 10^{-6}\,\text{H} = 0{,}273\,\mu\text{H},$$

$$\text{C nach Gl. (38)} = \frac{1}{8{,}792 \cdot 240 \cdot 10^8} = 4{,}7 \cdot 10^{-12}\,\text{F} = 4{,}7\,\text{pF}.$$





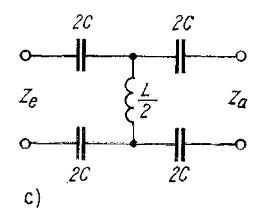


Bild 8.5.
Hochpässe; a — unsymmetrisches Halbglied, b — unsymmetrisches Vollglied, c — symmetrisches Vollglied

8.2.3. Der Bandpaß

Wie schon der Name sagt, ist der Bandpaß für ein bestimmtes Frequenzband durchlässig. Dieser Durchlaßbereich wird durch die definierten Frequenzen f_h (höchste Frequenz) und f_t (tiefste Frequenz) begrenzt. Alle Frequenzen, die höher als f_h und tiefer als f_t liegen, werden gesperrt.
Wie Bild 8.6. zeigt, besteht ein Bandpaß aus Serienresonanzkreisen im Längsweg ($L_1 - C_1$) und aus einem Parallelresonanzkreis im Querweg ($L_2 - C_2$). Zur Berechnung eines Bandpasses müssen aus der oberen Grenzfrequenz f_h und aus der unteren Grenzfrequenz f_t die Kreisgrenzfrequenz ω_h und ω_t nach Gl. (32) errechnet werden. Aus f_h und f_t wird außerdem die mittlere Resonanzfrequenz f_m (Durchlaßbereichsmitte) ermittelt und daraus die mittlere Kreisresonanzfrequenz ω_m nach Gl. (32) gebildet. Liegen die Werte für ω_h, ω_t und ω_m fest, so können die Dimensionen für die Bauelemente nach folgenden Gleichungen errechnet werden:

$$L_1 = \frac{Z}{(\omega_h - \omega_t)}, \tag{39}$$

$$L_2 = \frac{Z\,(\omega_h - \omega_t)}{\omega_m{}^2}, \tag{40}$$

$$C_1 = \frac{(\omega_h - \omega_t)}{\omega_m{}^2\, Z}, \tag{41}$$

$$C_2 = \frac{1}{Z\,(\omega_h - \omega_t)}; \tag{42}$$

L in Henry (H), Z in Ohm (Ω), ω in Hertz (Hz), C in Farad (F).

Beispiel

Es soll ein Bandpaß berechnet werden, der einen Durchlaßbereich von 70 MHz (f_t) bis 130 MHz (f_h) hat. Dabei ist ein symmetrisches Vollglied nach Bild 8.6.c aufzubauen; Z beträgt 240 Ω. Kreisfrequenzen nach Gl. (32):

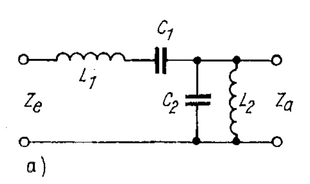
$\omega_h = 6{,}28 \cdot 130 \cdot 10^6 = 8{,}164 \cdot 10^8$ Hz,
$\omega_t = 6{,}28 \cdot 70 \cdot 10^6 = 4{,}396 \cdot 10^8$ Hz,
$\omega_m = 6{,}28 \cdot 100 \cdot 10^6 = 6{,}28 \cdot 10^8$ Hz;

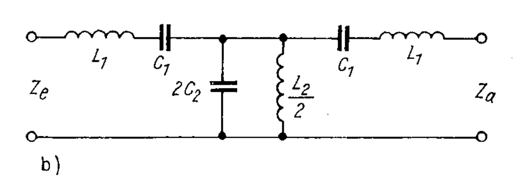
$$L_1 \text{ nach Gl. (39)} = \frac{240}{(8{,}164 - 4{,}396) \cdot 10^8} = 0{,}637 \cdot 10^{-6}\,\text{H}$$

$$= 0{,}637\,\mu\text{H},$$

$$L_2 \text{ nach Gl. (40)} = \frac{240 \cdot (8{,}164 - 4{,}396) \cdot 10^8}{6{,}28^2 \cdot 10^{16}} = 0{,}23 \cdot 10^{-6}\,\text{H}$$

$$= 0.23\,\mu\text{H},$$





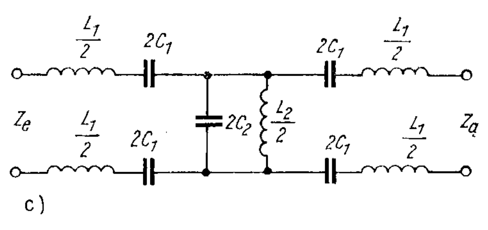


Bild 8.6. Bandpässe; a — unsymmetrisches Halbglied, b — unsymmetrisches Vollglied, c — symmetrisches Vollglied

$$C_1 \text{ nach Gl. (41)} = \frac{(8{,}164 - 4{,}396) \cdot 10^8}{6{,}28^2 \cdot 10^{16} \cdot 240} = 4{,}0 \cdot 10^{-12}\,\text{F}$$

$$= 4{,}0\,\text{pF},$$

$$C_2 \text{ nach Gl. (42)} = \frac{1}{240 \cdot (8{,}164 - 4{,}396) \cdot 10^8} = 11 \cdot 10^{-12}\,\text{F}$$

$$= 11\,\text{pF}\,.$$

Daraus ergeben sich nach dem Schaltbild 8.6.c folgende Einzelwerte für die Bauelemente:

$$\frac{L_1}{2} = 0{,}319\,\mu\text{H},\ \frac{L_2}{2} = 0{,}115\,\mu\text{H},\ 2\,C_1 = 8\,\text{pF},\ 2\,C_2 = 22\,\text{pF}.$$

8.2.4. Die Bandsperre

Eine Bandsperre hat einen Sperrbereich, der durch die definierten Frequenzen f_h und f_t begrenzt wird. Alle oberhalb von f_h und unterhalb von f_t liegenden Frequenzen werden durchgelassen. Nach Bild 8.7. hat eine Bandsperre in ihrem Längsweg Parallelresonanzkreise; der Querweg wird durch einen Serienresonanzkreis gebildet.
Die Bestimmungsgleichungen für die Bauelemente einer Bandsperre sind die gleichen wie die des Bandpasses – Gl. (39) bis Gl. (42). Ebenso setzt man auch ω_h, ω_t und ω_m ein. Der Berechnungsvorgang weist demnach keinerlei Unterschiede gegenüber dem des Bandpasses auf. Lediglich durch die Schaltungsanordnung der Serien- und Parallelresonanzkreise wird aus dem Durchlaßbereich ein Sperrbereich und umgekehrt.

8.2.5. Frequenzweichen

Geeignete Kombinationen von Grundfiltern werden als Frequenzweichen bezeichnet. Nicht nur in der Antennentechnik, sondern auch in der gesamten Fernmeldetechnik haben Frequenzweichen eine große Bedeutung, da sie die Mehrfachausnutzung von Leitungswegen ermöglichen.

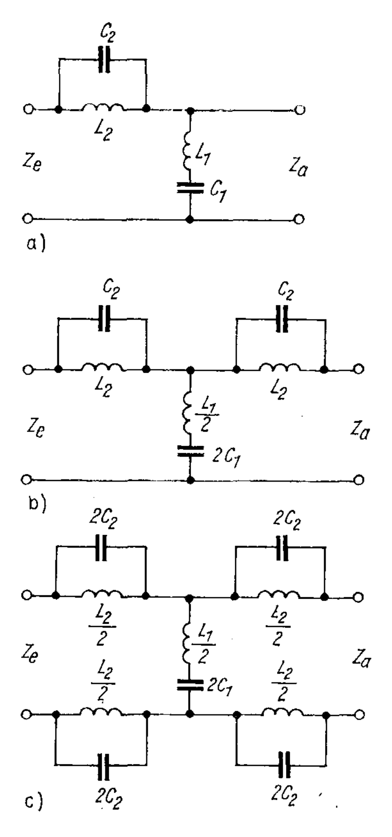


Bild 8.7. Bandsperren; a — unsymmetrisches Halbglied, b — unsymmetrisches Vollglied, c — symmetrisches Vollglied

In der Technik der Gemeinschafts-Antennenanlagen kommen die vier Grundfilterarten Tiefpaß, Hochpaß, Bandpaß und Bandsperre zur Anwendung. Im allgemeinen sollen Zusammenschaltungen von Empfangsantennen für die Frequenzbereiche Band I (Fernsehen), Band II (UKW-Rundfunk) und Band III (Fernsehen) vorgenommen werden. Entsprechend den Bandgrenzen sind die Grenzfrequenzen für die verschiedenen Filteranordnungen zu wählen. Wie schon erwähnt, erfolgt aber der Umschlag vom Durchlaßbereich zum Sperrbereich eines Filters nicht übergangslos, so daß die Filterwirkung bei der Grenzfrequenz noch nicht voll eintritt. Es ist deshalb üblich, die Grenzfrequenzen für Filter etwa 20% außerhalb des zu sperrenden bzw. zu übertragenden Bereichs festzulegen. So wird man z. B. die Grenzfrequenz eines Hochpasses für FS-Band III (174 bis 230 MHz) nicht für den Bandanfang 174 MHz, sondern um etwa 20% niedriger für 135 MHz bemessen. Unter Berücksichtigung der Frequenzbereiche der drei Bänder kann man folgende Grenzfrequenzen festlegen:

Band I (47 bis 68 MHz) – untere Grenzfrequenz
$f_t = 35$ MHz
($\omega_t = 219{,}8 \cdot 10^6$ Hz),
obere Grenzfrequenz
$f_h = 75$ MHz
($\omega_h = 471 \cdot 10^6$ Hz);

Band II (87,5 bis 100 MHz) – untere Grenzfrequenz
$f_t = 75$ MHz,
obere Grenzfrequenz
$f_h = 135$ MHz
($\omega_h = 847{,}8 \cdot 10^6$ Hz);

Band III (174 bis 230 MHz) – untere Grenzfrequenz
$f_t = 135$ MHz,
obere Grenzfrequenz
$f_h = 260$ MHz
($\omega_h = 1664{,}2 \cdot 10^6$ Hz).

Mit geringen Abweichungen werden auch in industriell hergestellten Frequenzweichen diese Grenzfrequenzen verwendet.

8.2.5.1. Anwendungsbeispiele für den Einsatz von Frequenzweichen

Mit einer Fernseh-Außenantenne ist auch ein guter Empfang des UKW-Hörrundfunks möglich, obwohl Fernseh-Empfangsantennen *für Band III* keine Resonanz im UKW-Rundfunkband haben (bzw. haben sollen). Außenantennen für UKW-Rundfunkempfang sind verhältnismäßig selten geworden; die meisten Hörer begnügen sich mit dem oft eingebauten Gehäusedipol oder einem Stück Draht als Innenantenne.
Es liegt der Wunsch nahe, eine vorhandene Fernsehantenne noch zusätzlich für den UKW-Rundfunkempfang zu nutzen.

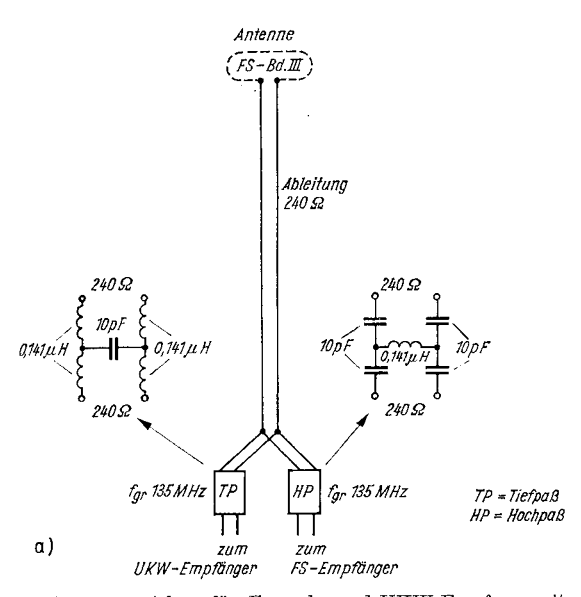
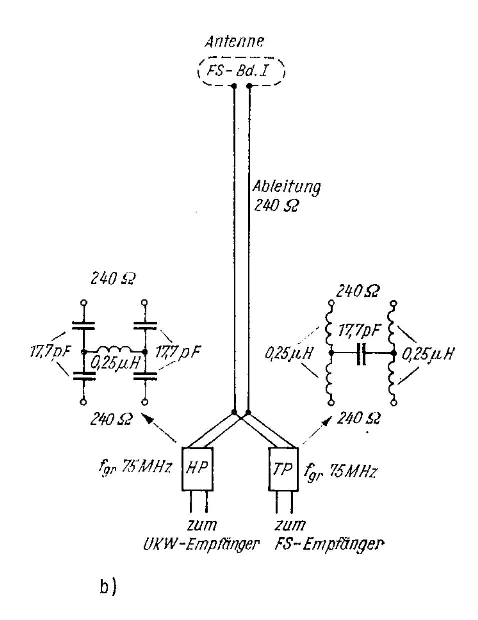


Bild 8.8. Frequenzweichen für Fernseh- und UKW-Empfang mit einer Fernsehantenne; a — mit Fernsehantenne Band III, b — mit Fernsehantenne Band I



b)

Dabei wäre es umständlich, wollte man den Antennenstecker vom Fernsehempfänger auf den UKW-Rundfunkempfänger und umgekehrt umstecken. Andererseits ist es auch nicht ratsam, parallel zum Eingang des Fernsehempfängers ein zweites Leitungsstück an den UKW-Empfängereingang zu führen, da in diesem Fall die Anpassung sehr gestört würde.
Eine technisch einwandfreie Methode zur Mehrfachnutzung einer Antenne findet man durch den Einsatz von Frequenzweichen. Handelt es sich um eine Fernsehantenne für Band III, so schaltet man nach Bild 8.8.a vor den Eingang des Fernsehempfängers einen Hochpaß mit der Grenzfrequenz 135 MHz, während der Eingang des UKW-Empfängers einen Tiefpaß mit ebenfalls 135 MHz f_{gr} erhält. Dadurch werden dem Fernsehempfänger alle Empfangsfrequenzen > 135 MHz zuge-

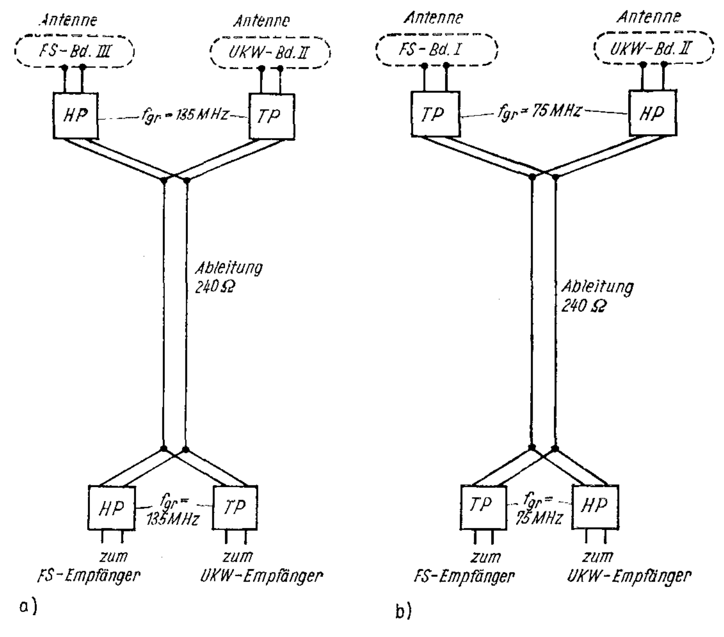


Bild 8.9. Frequenzweichen für die Zusammenschaltung einer Fernsehantenne mit einer UKW-Antenne: a — Fernsehantenne Band III und UKW-Antenne, b — Fernsehantenne Band I und UKW-Antenne

führt; alle unterhalb 135 MHz liegenden Frequenzen sind gesperrt und erreichen über den Tiefpaß den UKW-Empfänger. Handelt es sich um eine Fernsehantenne für Band I, so müssen alle Frequenzen < 75 MHz dem Fernsehempfänger zugeführt werden. Nach Bild 8.8.b ist deshalb vor dem Fernsehempfänger ein Tiefpaß mit f_{gr} 75 MHz anzuordnen; der UKW-Empfänger erhält über einen Hochpaß alle Frequenzen oberhalb 75 MHz. Die Zusammenschaltung einer Fernsehantenne mit einer UKW-Antenne zeigt Bild 8.9. Um Rückwirkungen zu vermeiden, müssen beide Antennen je einen Grundfilter erhalten. Vor den Empfängereingängen werden die gewünschten Fre-

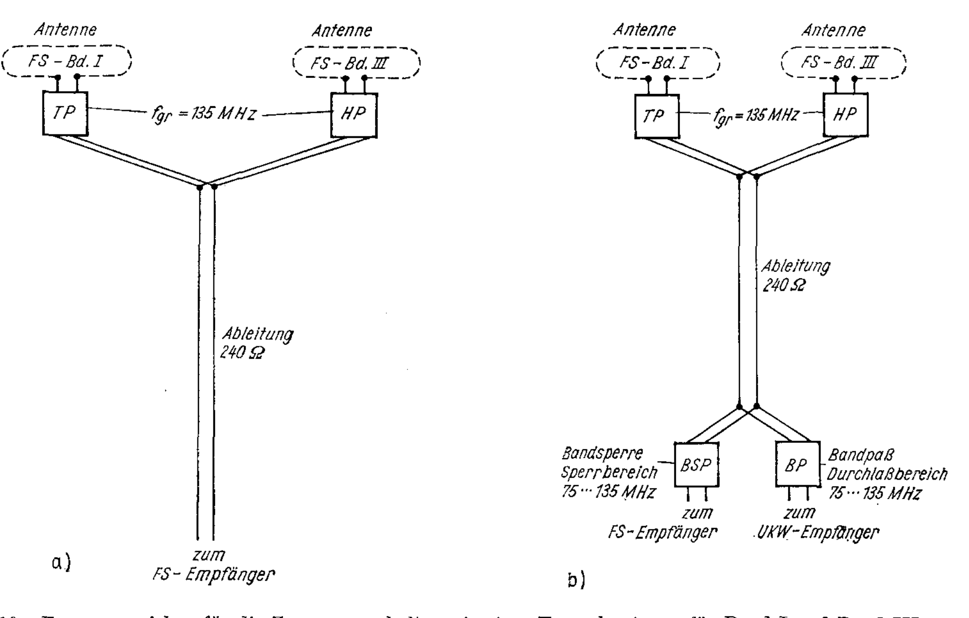


Bild 8.10. Frequenzweichen für die Zusammenschaltung je einer Fernsehantenne für Band I und Band III; a — nur für Fernsehempfang, b — für zusätzlichen UKW-Empfang mit der Band-I-Antenne

quenzbereiche durch eine Weiche wieder aufgeteilt. Handelt es sich um eine Fernsehantenne für Band III, so finden Hoch- und Tiefpaß mit einer Grenzfrequenz von 135 MHz Verwendung (Bild 8.9.); bei einer Fernsehantenne für Band I muß man die Grenzfrequenz mit 75 MHz wählen (Bild 8.9.b). Einen geringen Aufwand an Grundfiltern erfordert die Zusammenschaltung einer Fernsehantenne für Band I mit einer Fernsehantenne für Band III (Bild 8.10.). In diesem Fall benötigt man an der Antennenseite nur eine Frequenzweiche. Nach Bild 8.10.a ist an der Band-I-Antenne ein Tiefpaß und an der Band-III-Antenne ein Hochpaß mit $f_{gr} = 135$ MHz einzusetzen. Eine Auftrennung am empfängerseitigen Ende der Ableitung entfällt, da die Selektion im Kanalwähler des Empfängers erfolgt. Wünscht man jedoch die Band-I-Antenne noch zusätzlich für den UKW-Empfang zu nutzen, so muß der Fernsehempfänger nach Bild 8.10.b über eine Bandsperre mit einem Sperrbereich von 75 bis 135 MHz an die Ableitung angeschlossen werden. Der UKW-Empfänger erhält seine Empfangsspannung über einen Bandpaß, dessen Durchlaßbereich 75 bis 135 MHz beträgt.

Eine Anlage mit je einer Fernsehantenne für Band I und Band III sowie mit einer UKW-Rundfunkantenne zeigt Bild 8.11. Hier sind zwei Variationen möglich. Nach Bild 8.11.a ist die Band-I-Antenne mit einem Tiefpaß ($f_{gr} = 75$ MHz) abgeschlossen; die Band-III-Antenne hat einen Hochpaß mit einer Grenzfrequenz von 135 MHz. An der UKW-Rundfunkantenne wurde ein Bandpaß von 75 bis 135 MHz vorgesehen. Entsprechend Bild 8.11.b besteht die antennenseitige Weiche ebenfalls aus einem Hochpaß für die Band-III-Antenne ($f_{gr} = 135$ MHz). Dagegen hat die UKW-Antenne einen Tiefpaß für $f_{gr} = 135$ MHz, und die Band-I-Antenne weist einen Bandpaß von 35 bis 75 MHz Durchlaßbereich auf. Vom Fernsehempfänger sind in beiden Varianten die UKW-Empfangsspannungen durch eine Bandsperre (Sperrbereich 75 bis 135 MHz) ferngehalten. Sie werden über einen Bandpaß (Durchlaßbereich 75 bis 135 MHz) dem UKW-Empfänger zugeführt.

In den Beispielen, die alle praktisch vorkommenden Anwen-

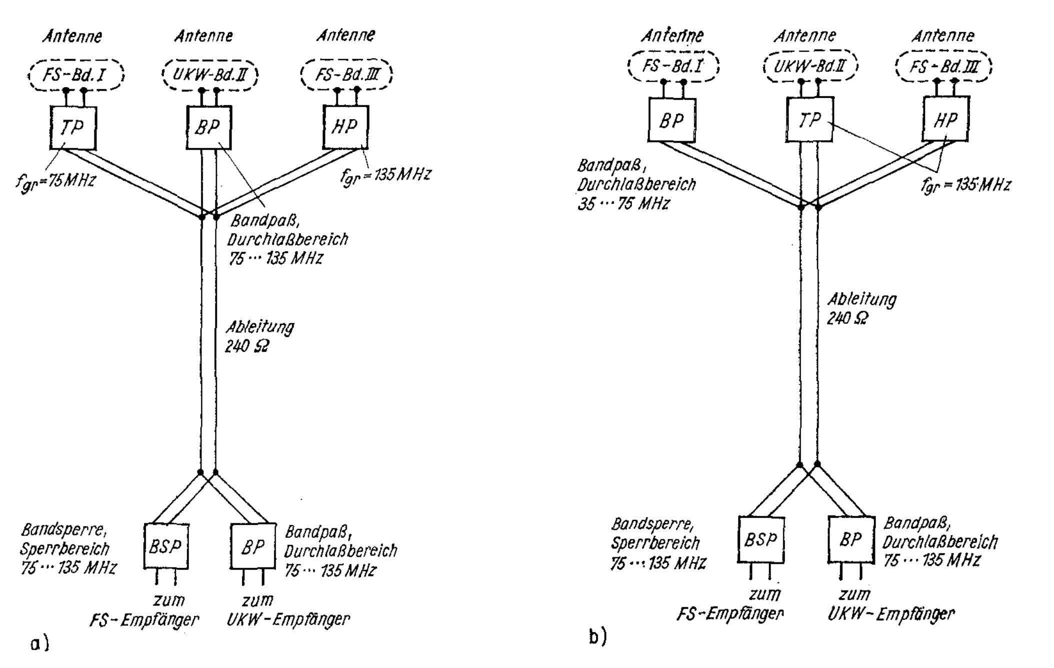


Bild 8.11. **Frequenzweichen für die Zusammenschaltung von Antennen für Band I, II und III in den Varianten a und b**

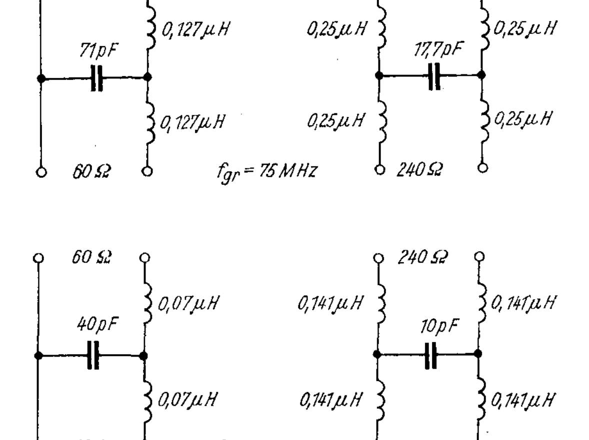
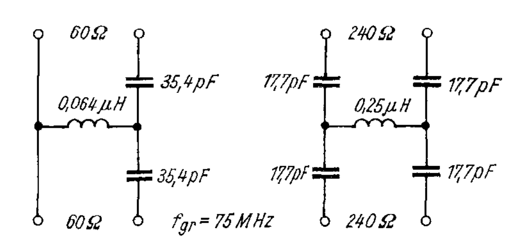


Bild 8.12. Tiefpässe



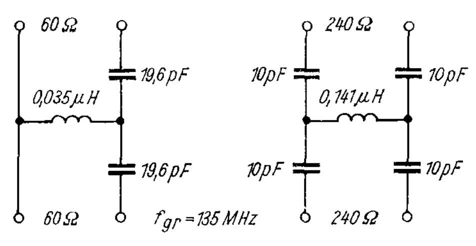
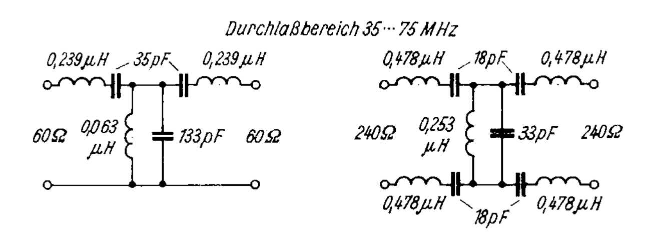
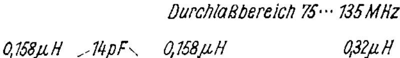
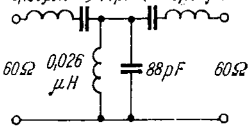


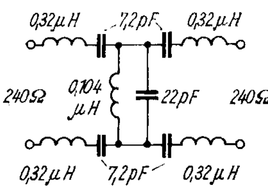
Bild 8.13. Hochpässe

dungsfälle behandeln, wurde die symmetrische Ausführung mit 240 Ω Impedanz gewählt. Aus bereits erwähnten Gründen ist es jedoch günstiger, Fernseh-Antennenanlagen für unsymmetrische Speisung mit 60-Ω-Koaxialkabel einzurichten. Bei industriell hergestellten Gemeinschafts-Antennenanlagen ist das sogar die Regel. Bei einer Umstellung auf Koaxialkabel sind sämtliche Filter für eine Impedanz von 60 Ω unsymmetrisch zu bemessen. Außerdem ist es erforderlich, zwischen den Antennenfußpunkten und den dazugehörigen Filtern je

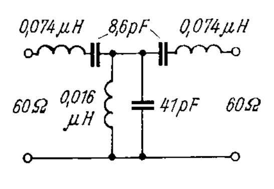








Durchlaßbereich 135 ··· 265 MHz



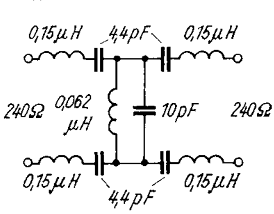


Bild 8.14. Bandpässe

einen Übertrager einzuschalten, der von 240 Ω symmetrisch auf 60 Ω unsymmetrisch transformiert. Diese Symmetrieübertrager bietet die Antennenindustrie in verschiedenen Ausführungen an. Haben die Empfänger keinen 60-Ω-Antenneneingang, so muß hinter den empfängerseitigen Filtern wieder auf 240 Ω symmetrisch mit gleichartigen Übertragern transformiert werden.

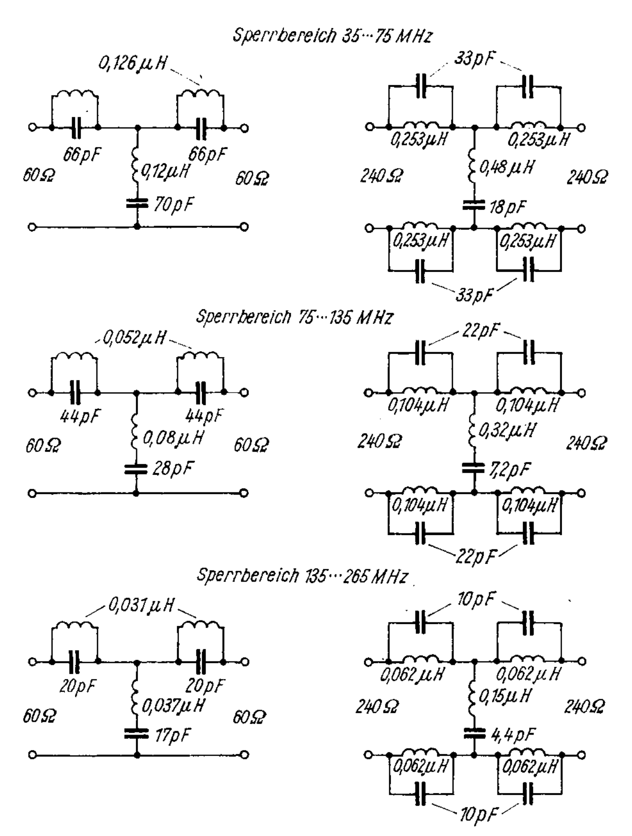


Bild 8.15. Bandsperren

Bild 8.12. bis Bild 8.15. zeigen fertig berechnete Grundfilter für alle praktisch vorkommenden Anwendungsfälle. Sie sind in symmetrischer (240 Ω) und unsymmetrischer (60 Ω) Ausführung dargestellt.
Verlustarm aufgebaute Grundfilter haben eine geringe Durchlaßdämpfung in der Größenordnung 1 dB. Darum wird die Nutzspannung nur unwesentlich gedämpft. Die angegebene Impedanz der Frequenzweichen ist nur innerhalb des genutzten Bereichs annähernd vorhanden. Deshalb hat z. B. ein Tiefpaß für $f_{gr} = 135$ MHz nur für Frequenzen < 135 MHz die Sollimpedanz; sein Blindwiderstand für Frequenzen > 135 MHz ist sehr hoch. Das gilt sinngemäß auch für den Hochpaß, den Bandpaß und die Bandsperre. Daraus ist zu erkennen, daß sich bei der Parallelschaltung zweier Grundfilter (z. B. eines Hochpasses und eines Tiefpasses) die Impedanz der Filter nur unwesentlich verändert, denn bei jedem Filter liegt der frequenzbedingte hohe Blindwiderstand des anderen Filters parallel der Sollimpedanz. Der resultierende Widerstand dieser Parallelschaltung wird im wesentlichen von dem kleinsten Widerstand – der Sollimpedanz – bestimmt. Die Impedanzänderung ist deshalb so gering, daß sie vernachlässigt werden kann. Alle Grundfilter lassen sich direkt am Antennenfußpunkt oder auch an einer beliebigen Stelle der Ableitung einschleifen, sofern ihre Impedanz dem Fußpunktwiderstand der Antenne bzw. dem Wellenwiderstand der Antennenableitung entspricht. Aus praktischen Gründen wird man die Montage der Antennenweichen unter der Dachhaut bevorzugen, da sie dort vor Witterungseinflüssen geschützt sind. Selbsthergestellte Antennenweichen können leicht in einer kleinen Feuchtraumdose untergebracht werden und eignen sich dann auch für eine Montage im Freien.

8.2.5.2. Die Selbstherstellung von Frequenzweichen

Es ist nicht allzu schwierig und auch wenig kostspielig, Antennenweichen für kleinere Antennenanlagen selbst herzustellen. Natürlich kann ein Amateur kaum die Güte und Präzision industriell gefertigter Erzeugnisse erreichen, da ihm

hierzu meist die meßtechnischen Voraussetzungen fehlen. Wenn jedoch einige Grundsätze beachtet werden, können brauchbare Frequenzweichen auch im Selbstbau entstehen. Die Beschaffung der erforderlichen Kondensatoren dürfte nicht schwierig sein. Nicht handelsübliche „krumme" Werte können durch Parallel- oder Serienschaltung passender Kapazitäten hergestellt werden. Es kommen ausschließlich induktionsarme keramische Kondensatoren mit kleinem negativem Temperaturkoeffizienten in Frage, Rollblocks sind ungeeignet. Etwas Kopfzerbrechen bereitet das Herstellen der erforderlichen Induktivitäten in der Größenordnung von 0,015 bis 0,5 μH, denn Meßeinrichtungen für diese kleinen Induktivitäten dürften auch bei gut ausgerüsteten Bastlern kaum vorhanden sein.

Ohne langwierige Berechnungen kommt man zum Ziel, wenn vorgegebene Spulendurchmesser d und Spulenlänge l zugrunde gelegt werden. Da man gemäß Bild 8.12. bis 8.15. Induktivitäten zwischen 0,016 und 0,478 μH benötigt, sind Spulendurchmesser von 7 mm oder 10 mm gut geeignet. Für die Induktivitäten von 16 bis 100 nH (1 μH = 1000 nH – Nanohenry) wählt man eine Spulenlänge l von 14 mm, während die Spulen mit 100 bis 478 nH über eine Länge l von 21 mm gewickelt werden. Unter diesen Voraussetzungen erhält man die Windungszahl n der Spule aus nachstehenden Näherungsformeln.

Spulendurchmesser d = 7 mm, Spulenlänge l = 14 mm,

$$n = \sqrt{\frac{L}{2,8}}\,; \tag{43}$$

Spulendurchmesser d = 10 mm, Spulenlänge l = 14 mm,

$$n = \sqrt{\frac{L}{5,3}}\,; \tag{44}$$

Spulendurchmesser d = 7 mm, Spulenlänge l = 21 mm,

$$n = \sqrt{\frac{L}{1,96}}\,; \tag{45}$$

Spulendurchmesser d = 10 mm, Spulenlänge l = 21 mm,

$$n = \sqrt{\frac{L}{4}} \;; \qquad (46)$$

die Induktivität L ist jeweils in Nanohenry (nH) einzusetzen. Die Windungen sind über die angegebene Spulenlänge l (14 mm bzw. 21 mm) zu verteilen. Besonders verlustarme Spulen entstehen aus versilbertem Kupferdraht mit etwa 1 mm Stärke. Polystyrolkörper können als Spulenträger verwendet werden, hochwertiger sind jedoch freitragende Luftspulen. Man wickelt sie über einen passenden Dorn und montiert sie später zwischen keramischen Stützpunkten.

Mit Hilfe eines geeichten Resonanzmessers (Griddipper) mit UKW-Bereich läßt sich die Induktivität der Spulen überprüfen. Dabei schaltet man die zu messende Spule mit einem eng tolerierten Keramikkondensator (z. B. 10 pF) zu einem Parallelresonanzkreis zusammen und mißt dann die Resonanzfrequenz dieses Schwingkreises mit dem Grid-Dip-Meter. Aus der Resonanzfrequenz f und der bekannten Kapazität C läßt sich nun die gesuchte Induktivität L errechnen. Man benutzt dafür die Thomsonsche Gleichung oder die in vielen Lehrbüchern veröffentlichten Nomogramme zur Ermittlung von Schwingkreisdaten.

Notwendige Korrekturen der Induktivität werden durch Zusammendrücken (größere Induktivität) oder Auseinanderziehen (kleinere Induktivität) der Windungen hergestellt.

Beim Aufbau der Frequenzweichen muß möglichst mit den Bauelementen selbst geschaltet werden. In jedem Fall ist kürzeste Leitungsführung anzustreben, da alle Leitungen zusätzliche Induktivitäten und Kapazitäten in die Schaltung bringen. Gleichzeitig müssen aber auch die Spulen so angeordnet sein, daß sie sich gegenseitig wenig beeinflussen. Das erreicht man, wenn die Spulenachsen um 90° gegeneinander in der Ebene versetzt aufgebaut werden. Besonders wichtig ist, daß die Spulen zweier benachbarter Grundfilter (z. B. ein Hochpaß und ein Tiefpaß) nicht miteinander koppeln können.

8.3. Gemeinschafts-Antennenanlagen der Antennenindustrie

Die Antennenindustrie ist in der Lage, Gemeinschafts-Antennenanlagen zu liefern, die beliebig viele Teilnehmer mit allen vorhandenen Programmen des Fernseh- und des Hörrundfunks störungsfrei versorgen können.
Am zentralen Antennenstandort wird nur eine bestimmte Mindestfeldstärke der Senderstrahlung für die gewünschten Programme vorausgesetzt, so daß ein ausreichender Rauschspannungsabstand vorhanden ist. Alle im Zuge der Empfangsenergieverteilung auftretenden Spannungsverluste können durch den Einsatz von Verstärkern ausgeglichen werden. Es wäre deshalb durchaus möglich, ganze Großstädte mit einer einzigen Zentral-Antennenanlage zu versorgen.
Im allgemeinen sind Gemeinschafts-Antennenanlagen der Industrie für den Empfang von Lang-, Mittel- und Kurz-

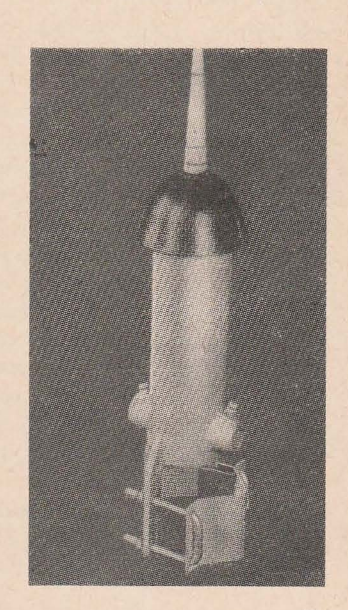


Bild 8.16.
Antennenkopf des VEB Antennenwerk Bad Blankenburg

wellen (LMK), des UKW-Rundfunkbereichs und des Fernsehens eingerichtet. Für den Empfang des LMK-Bereichs werden ausschließlich vertikale Antennenruten verwendet, deren Länge im allgemeinen etwa 3 m beträgt. Häufig sind diese Stabantennen mit einem Falt- oder Kreuzdipol für den UKW-Empfang kombiniert. Die Fernsehempfangsantenne ist den örtlichen Empfangsbedingungen entsprechend ausgewählt. Sämtliche Antennen sind an einem Standrohr bzw. an einem auf die Mastspitze gesetzten Antennenkopf befestigt. Einen Antennenkopf des VEB Antennenwerk Bad Blankenburg zeigt Bild 8.16. Er hat unten eine Klemmschelle zur Befestigung auf dem Standrohr, am Kopfende ist die Antennenrute für den LMK-Empfang eingeschraubt. Unter der pilzförmigen Regenschutzhaube befinden sich die Anschlußklemmen für je eine UKW- und eine Fernsehantenne (240 Ω symmetrisch). Oberhalb der Mastschelle ist am Gehäuse noch die Aufnahme für einen Antennenhaltestab vorhanden. In seinem Innern enthält der Antennenkopf alle Übertrager und Frequenzweichen, die eine gemeinsame Antennenableitung (60-Ω-Koaxialkabel) ermöglichen. Das Schaltbild des Antennenkopfes ist in Bild 8.17. dargestellt.
Am Fußpunkt der LMK-Antennenrute ist eine Funkenstrecke als Überspannungsableiter vorgesehen. Zur Anpassung an die niederohmige Antennenableitung dient je ein Spezialübertrager $Ü_1$ für Mittel- und Langwellen und $Ü_2$ für Kurzwellen. Am Ausgang von $Ü_2$ ist noch ein Hochpaß für Kurzwellen eingeschleift. Die Antenneneingänge für UKW und Fernsehen sind für 240 Ω symmetrisch ausgelegt. Je ein Impedanzwandler von 240 Ω symmetrisch auf 60 Ω unsymmetrisch sorgt für Anpassung an die gemeinsame 60-Ω-Ableitung. Die von der UKW-Antenne aufgenommenen Empfangsspannungen erreichen über einen unsymmetrischen Bandpaß für UKW die gemeinsame Ableitung. An den Symmetrierübertrager der Fernsehantenne schließt sich ein unsymmetrischer Hochpaß für die Fernsehfrequenzen an, dem eine Bandsperre für den UKW-Bereich folgt. Diese Bandsperre hat die Aufgabe, Rückwirkungen der UKW-Antenne auf die Fernsehantenne und umgekehrt zu verhindern. Vor der UKW-Bandsperre werden

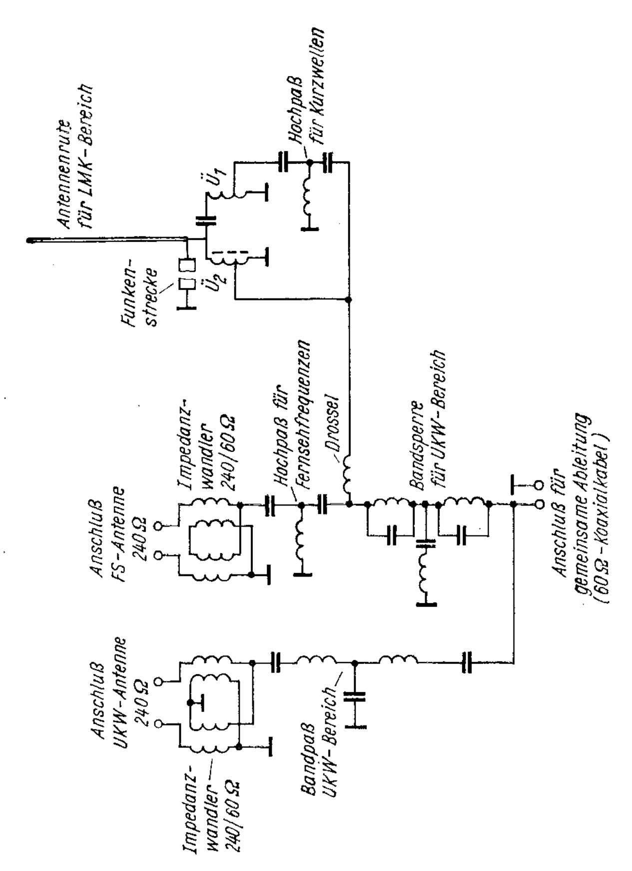


Bild 8.17. Schaltbild des Antennenkopfes (Typ 1187.026 des VEB Antennenwerk Bad Blankenburg)

noch die LMK-Frequenzen über eine Drossel in den Leitungsweg eingeschleift.

Der Anschluß für die 60-Ω-Ableitung ist unten am Antennenkopf so angeordnet, daß man das Koaxialkabel innerhalb des Standrohrs in das Gebäudeinnere einführen kann. Im Dach-

boden – möglichst nahe der Antennenniederführung – befindet sich der Gemeinschafts-Antennenverstärker (z. B. Typ GAV 1 oder GAV 2 des VEB Antennenwerk Bad Blankenburg). Gemeinschafts-Antennenverstärker sind für große Betriebssicherheit konstruiert, sie haben einen stabilisierten Netzteil und sind ausschließlich mit Langlebensdauerröhren bestückt. Die vorgesehenen Frequenzbereiche werden in auswechselbaren Verstärkerstreifen getrennt verstärkt. Entsprechend den örtlichen Empfangsverhältnissen lassen sich für die Fernsehbereiche wahlweise Breitband-Verstärkerstreifen oder Einkanalverstärker einsetzen.
Vom Verstärkerausgang erfolgt die Verteilung auf die einzelnen Verbraucher. In größeren Anlagen werden dabei über einen Verteiler (s. Bild 8.1.a) die Empfangsspannungen auf mehrere Stammleitungen gleichmäßig verteilt. An die Stammleitungen schließt man vorwiegend im Durchschleifverfahren (s. Bild 8.2.) die Anschlußdosen für die einzelnen Verbraucher an. Die Anschlußdosen enthalten nicht nur den an den Innenleiter der Stammleitung angeschalteten Entkopplungswiderstand, sondern auch eine Reihe weiterer Bauelemente, die der Auftrennung in die Anschlüsse für das Rundfunkgerät (Bereiche LMK und UKW) und für den Fernsehempfänger (Band I bzw. Band III) dienen. Bild 8.18. zeigt das Schaltbild einer Anschlußdose des VEB Antennenwerk Bad Blankenburg (Typ 1181.957 ... 1181.959). R_K ist der an die Stammleitung angeschlossene Entkoppelwiderstand, R_1 dient zur Impedanzanpassung. L_1/C_1 wurde als Sperrkreis für Bandmitte des Fernsehbereichs I bemessen, so daß diese Frequenzen nicht zum LMKU-Anschluß gelangen. L_3/C_3 hingegen sperren die Frequenzen des UKW-Bereichs vom Anschluß für den Fernsehempfänger. Gleichzeitig bildet L_3 zusammen mit C_2 einen Reihenresonanzkreis (Leitkreis) für die Frequenzen des Fernsehbands I, C_2 und C_3 haben für Frequenzen > 150 MHz einen sehr geringen kapazitiven Widerstand, so daß die Frequenzen des Bandes III – praktisch ohne gedämpft zu werden – zum Anschluß für Fernsehen gelangen. C_1 wirkt zusammen mit L_2 als Leitkreis für den UKW-Bereich. Da die Spulen L_1 und L_2 für Lang-, Mittel- und Kurzwellen nur einen

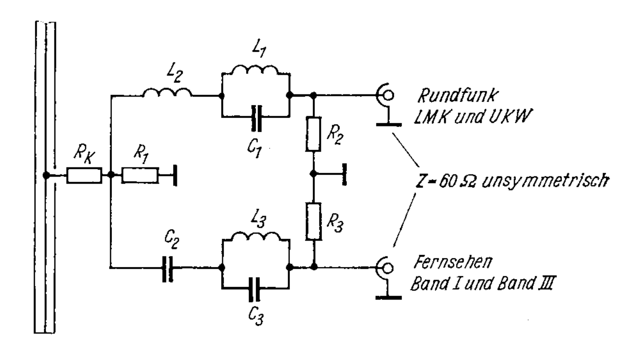


Bild 8.18. Schaltbild einer Anschlußdose (Typ 1181.957 ··· 1181.959 des VEB Antennenwerk Bad Blankenburg)

sehr geringen induktiven Widerstand darstellen, der kapazitive Widerstand von C_2 jedoch für diese Frequenzen sehr hoch ist, können die Wellen der LMK-Bereiche nur den Weg zum Rundfunkanschluß nehmen. R_2 und R_3 sollen eine Rückwirkung der Dosenanschlüsse LMKU und FS untereinander vermindern. Die in der Anschlußdose enthaltenen Schaltelemente rufen außerdem eine sehr wirksame Dämpfung der von den einzelnen Empfängern noch ausgestrahlten Oszillatoroberwellen hervor, so daß ihr Eindringen in das Verteilernetz unterbunden wird.

Fernsehempfänger, die einen Eingang für 60-Ω-Koaxialkabel haben, können über ein mit passenden Steckern versehenes Koaxialkabelstück direkt mit der Anschlußdose verbunden werden. Ist nur ein 240-Ω-Anschluß vorhanden, so muß die Verbindung über ein symmetrierendes Transformationsglied erfolgen. Die Industrie liefert dazu passende Anschlußschnüre für Fernsehempfänger (z. B. Typ 1185.065 des VEB Antennenwerk Bad Blankenburg), die diesen Übertrager enthalten. Die Anschlußschnur für den Rundfunkempfänger (LMK und UKW) ist in Bild 8.19. als Schaltung dargestellt (Typ 1185.065 des VEB Antennenwerk Bad Blankenburg). Sie enthält für den UKW-Anschluß einen Symmetrierübertrager, vor dem noch ein Leitkreis C_3/L_2 für die UKW-Frequenzen angeordnet

wurde. Der kapazitive Widerstand von C_3 ist für die LMK-Frequenzen sehr groß, so daß diese vom UKW-Empfängereingang ferngehalten werden. Sie sind über das Tiefpaß-Halbglied L_1/C_1 je einem Übertrager – $Ü_1$ für Lang- und Mittelwellen sowie $Ü_2$ für Kurzwellen – dem Empfängereingang LMK zugeführt. $Ü_1$ transformiert auf einen Empfängereingangswiderstand von etwa 2000 Ω, während der Kurzwellenbereich durch $Ü_2$ auf etwa 600 Ω Impedanz übersetzt wird. Die Spule L_1 hat für Ultrakurzwellen einen großen induktiven Widerstand, sie sperrt somit diese Frequenzen vom LMK-Anschluß ab. Der Serienresonanzkreis C_3/L_2 weist außerdem für die Oszillatoroberwellen des UKW-Empfängerteils eine gute Sperrwirkung auf, so daß noch eine zusätzliche Entkopplung zwischen Rundfunk- und Fernsehteil erreicht wird. Das Blockschaltbild einer Gemeinschafts-Antennenanlage ist in Bild 8.20. dargestellt. Es handelt sich hier um

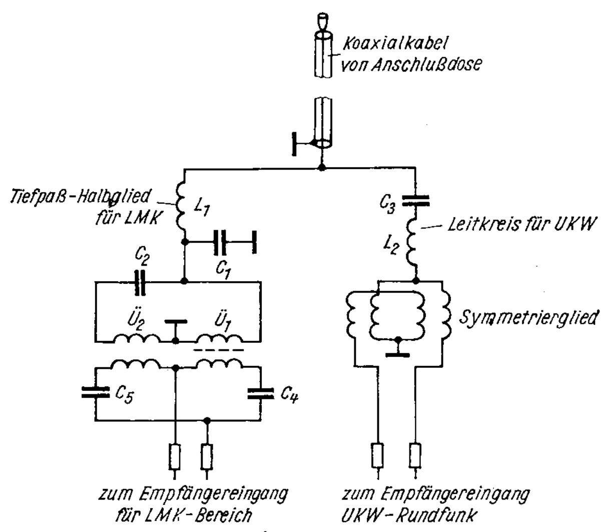


Bild 8.19. Schaltbild der LMKU-Anschlußschnur (Typ 1185.034 des VEB Antennenwerk Bad Blankenburg)

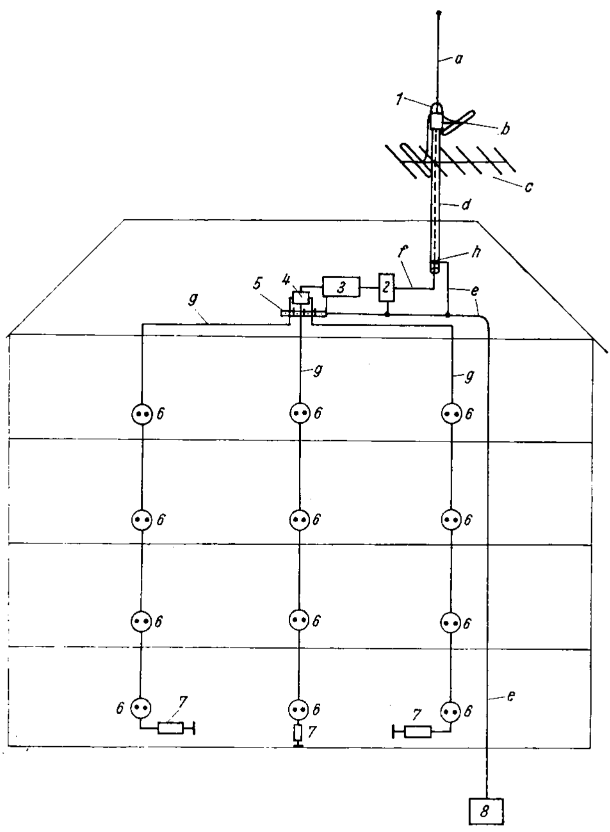


Bild 8.20. Blockschaltbild einer Gemeinschafts-Antennenanlage; 1 — Antennenkopf, 2 — Überspannungsableiter, 3 — Antennenverstärker, 4 — Verteiler, 5 — Erdungsschiene, 6 — Teilnehmer-Anschlußdosen, 7 — Abschlußwiderstände, 8 — Erder; a — Antennenrute LMK, b — UKW-Faltdipol, c — Fernsehantenne, d — Standrohr, e — Erdungsleitungen, f — gemeinsame Antennenniederführung, g — Stammleitungen, h — Erdungsschelle

eine Anlage für zwölf Teilnehmer, die über drei Stammteilungen mit je vier Anschlüssen im Durchschleifverfahren versorgt werden. Da Gemeinschafts-Antennenanlagen wohl immer die

Dachhaut um mehr als 3 m überragen, sind die Blitzschutzeinrichtungen nach den Grundsätzen des Blitzableiterbaus (ABB) aufzubauen. Im allgemeinen wird gefordert, daß die am weitesten entfernte Abschlußdose im Band III noch eine Mindestspannung von 0,5 mV führt. Es ist weiterhin anzustreben, daß an allen Teilnehmerdosen etwa gleiche Ausgangsspannungen vorhanden sind. Das erreicht man, indem die Entkoppelwiderstände der Dosen in ihren Werten entsprechend abgestuft werden.

Bereits beim Entwurf einer Gemeinschafts-Antennenanlage muß man alle zu erwartenden Dämpfungen abschätzen, so daß eine Übersicht über die erforderliche Verstärkung vorhanden ist. Dämpfungen entstehen in den Entkoppelelementen, den Verteilern, den Weichen, Filtern und Übertragern sowie als Kabelverluste in den Leitungen. In den Stammleitungen ist immer eine gewisse Welligkeit vorhanden. Deshalb muß zusätzlich noch mit einer Dämpfung durch Reflexionen gerechnet werden. Da die Hersteller für alle Bauteile und Kabel die Dämpfung in Dezibel angeben, erhält man die Gesamtdämpfung durch Addition der Einzelwerte. Die somit erhaltene Summendämpfung läßt erkennen, welche Verstärkung erforderlich ist.

Beispiel

Die Fernsehantenne einer Gemeinschafts-Antennenanlage liefert eine Antennenspannung von 0,8 mV; die Summendämpfung der Anlage wurde mit – 30 dB ermittelt; der Fernseh-Kanalgruppenverstärker hat eine Spannungsverstärkung von 32 dB. Mit welcher Spannung kann an der am weitesten entfernten Anschlußdose gerechnet werden?

Verstärkung:	+ 32 dB
Summendämpfung:	– 30 dB
Restverstärkung:	+ 2 dB

2 dB entsprechen einem Spannungsverhältnis von 1 : 1,26 (s. Anhang). Unter Berücksichtigung der Antennenspannung von 0,8 mV beträgt die Spannung an der am weitesten entfernten Anschlußdose $0{,}8 \cdot 1{,}26 \approx 1$ mV.

9. Die gesetzlichen Vorschriften für den Aufbau von Empfangs-Antennenanlagen

Der *Fachbereichstandard* TGL 200-7051 Blatt 2 ist seit dem 1. 1. 1965 für alle ortsfesten Empfangs-Antennenanlagen und für alle ortsveränderlichen Empfangs-Antennenanlagen, die vorübergehend ortsfest errichtet werden, verbindlich.
Die unter 1.* enthaltenen allgemeinen Forderungen erklären, daß die verfahrensrechtlichen und bautechnischen Bestimmungen der Deutschen Bauordnung (DBO) einzuhalten sind. Auch die Arbeitsschutzanordnungen (ASAO) 331/1 – Hochbau, Tiefbau und Baunebengewerbe (§ 43 Arbeiten an und auf Dächern) – und ASAO 336/1 – Schornsteinfegerhandwerk – sind zu beachten. Unter bestimmten Voraussetzungen sind außerdem die Allgemeinen Blitzschutz-Bestimmungen (ABB), FUA 1.13 – Blitzschutzanlagen – verbindlich.

1.2. Antennenanlagen auf Dächern dürfen die Begehbarkeit der vorgesehenen Zugänge zu den Schornsteinen und die Kehrarbeiten der Schornsteinfeger nicht behindern oder erschweren. Die Zugänglichkeit und Bedienung anderer Einrichtungen darf ebenfalls nicht erschwert sein.
Von der Schornsteineinmündung bis zum untersten Antennenteil muß ein vertikaler Abstand von mindestens 2 m eingehalten werden. Stellen, an denen eine Gefahr des Stolperns, Hängenbleibens und dergleichen besteht, sind gut sichtbar zu kennzeichnen.

1.3. Auf weichgedeckten Dächern (z. B. Deckung aus Stroh oder Schilf) ist das Errichten von Antennenanlagen unzulässig, Antennenzuleitungen dürfen durch derartige Dächer nicht hindurchgeführt werden. Bei Gebäuden mit solchen Dächern müssen die Antennen vom Gebäude abgesetzt errichtet werden,

* Diese Abschnittsnumerierung gilt nur für die hier angeführte TGL.

wenn keine Antennen nach 3.1.1.2. (Innenantennen) verwendbar sind.

1.4. Drähte oder Seile an Antennenanlagen im Freien müssen einen Durchmesser von mindestens 1 mm aufweisen.

1.5. Teile von Antennenanlagen, die betriebsmäßig oder im Störungsfalle Wärme abgeben (z. B. Antennenverstärker), müssen so errichtet werden, daß durch sie kein Brand entsteht.

Die *mechanischen Forderungen* beziehen sich unter 2.1. auf die Festigkeit von Antennen und Antennenträgern und unter 2.2. auf deren Befestigung.

2.1.1. Die Antennenanlage muß in allen Teilen den mechanischen Beanspruchungen genügen und den Witterungseinflüssen widerstehen.

2.1.2. Für die Berechnung der Festigkeit von Antennen und Antennenträgern sind die Lastannahmen nach VDE 0210/156 § 15 anzuwenden. Ausgenommen sind Antennen und Antennenträger nach 2.1.3.

2.1.3. Für Antennenaufbauten, bestehend aus Antennen und Antennenträger, mit einer freien Gesamtlänge bis 10 m, ist ein Staudruck von $q = 70\ kp/m^2$ und ein mittlerer Beiwert von $c = 1{,}0$ einzusetzen, wenn die Windfläche der Antennen F_i allein $0{,}25\ m^2$ nicht überschreitet. Diese Antennenaufbauten dürfen bis zu einer Höhe von 40 m über dem Erdboden und auch auf Gebäuden von mehr als 40 m Höhe verwendet werden, wenn sie die Dachhaut nicht mehr als 10 m überragen. Als Gebäude in diesem Sinne gelten nicht schlanke Bauwerke wie Türme, hohe freistehende Schornsteine, Fabrikschornsteine und Maste. Zu beachten ist dabei die DBO § 10 und § 23 (6).

Es folgen unter 2.1.3.1. die Berechnung der Rohrabmessungen für Antennenträger mit einer freien Gesamtlänge bis zu 10 m einschließlich Antennen und unter 2.1.3.2. die Berechnung des Einspannmomentes für nichtabgespannte Antennenträger gleichen Querschnittes.

2.1.5. Beispiele für die Berechnung von Antennenträgern nach 2.1.3.1.

2.1.6. Zusammengesetzte Rohre mit Gewindemuffen dürfen nicht verwendet werden. Rohrverbindungen müssen gegen Verdrehen und Verschieben gesichert sein und an jeder Stelle den Festigkeitsanforderungen entsprechen.

2.1.7. In Gebieten, in denen erfahrungsgemäß mit höheren Staudrücken als in 2.1.3. angegeben oder mit stärkerer Vereisung zu rechnen ist, sind die hierdurch auftretenden höheren Belastungen durch erhöhte Lastannahmen zu berücksichtigen.

2.2.1. Ausreichende Festigkeit der Befestigung des Antennenträgers ist nachzuweisen. Beträgt das Einspannmoment des Antennenträgers weniger als 50 kpm, so ist kein Festigkeitsnachweis erforderlich. Bei der üblichen Befestigung mit 2 Schellen an Gebäudeteilen, z. B. am Dachgebälk oder im Mauerwerk, müssen die Einspannstellen bei einem Antennenträger von über 1 m Länge einen Mindestabstand von 10% der Gesamtlänge, mindestens jedoch 75 cm für das Dachgebälk und 50 cm für Mauerwerk haben. Die Befestigung im Mauerwerk oder Beton darf nicht durch Eingipsen erfolgen.

2.2.2. Die Befestigung von Antennenträgern, Antennen und Abspannungen an Einzelschornsteinen (einzügigen Schornsteinen) ist aus Gründen der Betriebssicherheit nicht zulässig. Siehe auch DBO § 292 (1). Eine Befestigung oder Verankerung an Schornsteingruppen (mehrzügigen Schornsteinen, freistehenden Schornsteinen, Fabrikschornsteinen), Turmkaminen, Formsteinkaminen, Entlüftungsschächten und sonstigen Dachaufbauten ist nur zulässig, wenn die Festigkeit dieser Baulichkeiten den durch die Antennenanlage zu erwartenden Beanspruchungen genügt und die Zustimmung der für das Bauwerk zuständigen Stelle vorliegt.

Die Befestigung darf nur mit Befestigungsmitteln erfolgen, die die vorgenannten Baulichkeiten umfassen und dabei deren Festigkeit, z. B. durch Einschneiden, nicht verringern. Für freistehende Schornsteine sind auch Befestigungsmittel zulässig, die ihn nicht umfassen.

Der Abstand zwischen der oberen Kante der gemauerten Baulichkeit und dem oberen Befestigungspunkt des Antennenträgers muß mindestens 30 cm betragen. Zu beachten ist die Bauanzeigepflicht nach DBO § 23 (c), wenn die Antennenanlagen den Dachfirst um mehr als 5 m überragen.

2.2.3. Antennenträger, Antennen und Abspannungen dürfen an Gebäuden, Dachaufbauten, Dachständern und dergleichen nur dann befestigt oder verankert werden, wenn die Standsicherheit gewährleistet ist.

2.2.4. Bei der Bemessung von Antennenleitungen und Abspannungen ist mit einer dreifachen Sicherheit gegenüber Bruchlast zu rechnen.

Die *elektrischen Forderungen* werden in 3.1. — Schutz gegen Blitzschäden und gegen atmosphärische Überspannungen —, 3.2. — Schutz gegen Spannungsübertritt aus elektrischen Installationen — 3.3 — Kreuzungen — aufgegliedert.

3.1.1.1. Außenantennen

a) Außerhalb von Bauwerken angebrachte leitfähige Teile von Antennenanlagen sowie metallene Dachaufbauten, die zum Tragen oder Befestigen von Antennen verwendet werden, müssen über eine Erdungsleitung nach 3.1.2.2. mit einem Erder nach 3.1.2.1. verbunden werden. Ausgenommen sind Außenantennen nach 3.1.1.2.1.c). Ist aus Betriebsgründen eine elektrisch leitfähige Verbindung nicht möglich, so darf die Erdungsleitung durch Trennfunkenstrecken nach 3.1.2.3.1.a) unterbrochen werden. Zum Ableiten atmosphärischer Überspannungen, die z. B. Schutzkondensatoren von Geräten gefährden können, ist ein Feinschutz nach 3.1.2.3.1.b) erforderlich, wenn der

Gleichstromwiderstand zwischen Antenne und Erder mehr als 500 Ohm beträgt. Eine Antennenanlage, die nach diesem Standard errichtet ist, gilt als Teil einer Gebäude-Blitzschutzanlage, wenn zusätzlich die ABB (FUA 1.13 – Blitzschutzanlagen –, VEB Verlag Technik Berlin, 7. Auflage, Berlin 1963) eingehalten werden.

b) Wenn auf dem Gebäude eine Gebäude-Blitzschutzanlage vorhanden ist oder errichtet wird, ist die Antennenanlage in die Blitzschutzanlage einzubeziehen. Dafür gelten die Bestimmungen nach ABB.

c) Sollen elektrisch nichtleitfähige Antennenträger gegen Zerstören (Zersplittern) geschützt werden, so ist am Antennenträger ein bis zur Spitze geführter verzinkter Stahldraht von mindestens 3 mm Durchmesser oder Kupferdraht von mindestens 6 mm^2 Querschnitt anzubringen, der nach 3.1.2. zu erden ist. Ist aus hochfrequenztechnischen Gründen ein durchgehender Draht nicht möglich, so darf er durch zwischengeschaltete Trennfunkenstrecken nach 3.1.2.3.1.a) unterbrochen werden.

3.1.1.2. Innenantennen und diesen gleichzusetzende Antennen

3.1.1.2.1. Auf eine Erdung zum Ausgleich atmosphärischer Überspannung darf verzichtet werden bei

a) Zimmerantennen und Antennen, die im Gerät eingebaut oder mit diesem unmittelbar mechanisch verbunden sind.

b) Antennen unter der Dachhaut, wenn deren äußerster Punkt und die Antennenzuleitung mindestens 0,5 m von der Dachhaut-Innenseite und von Schornsteinen oder Belüftungsanlagen entfernt und die Antennenzuleitungen im Innern des Gebäudes geführt sind. Bei außengeführten Antennenzuleitungen sind die Bestimmungen nach ABB zu beachten, falls die unter 3.1.1.2.1.c) angeführten Abstände nicht eingehalten werden können.

c) Außenantennen, deren höchster Punkt und deren Zuleitung mindestens 3 m unter einer metallischen

Dachrinne oder 2 m unter einer Dachrinne aus nichtleitendem Material und deren äußerster Punkt und deren Zuleitung nicht mehr als 2 m von der Außenwand des Gebäudes entfernt liegt (z. B. Fensterantennen).

3.1.1.2.2. Wenn das Gebäude eine Blitzschutzanlage nach ABB aufweist, muß der Mindestabstand D des äußersten Punktes der Antenne oder der Antennenzuleitung zu Blitzschutz-Anlagenteilen nach folgender Beziehung gewählt werden:

$D \leqq 1/5\,R$, wobei D in m und R in Ω einzusetzen sind. (R = Gesamterdungswiderstand der Blitzschutzanlage)

3.1.1.2.3. Ist die unter 3.1.1.2.2. genannte Bedingung nicht erfüllt, dann muß eine leitende Verbindung zur Blitzschutzanlage hergestellt werden. Trenn-Funkenstrekken nach 3.1.2.3.1.a) gelten als leitende Verbindung.

3.1.1.3. Antennenzuleitung

Um das Abspringen des Blitzstromes zu geerdeten Teilen im Gebäude an brandgefährdeten Stellen zu vermeiden, muß zwischen der Antennenzuleitung und den sichtbar verlegten, geerdeten Hausinstallationen oder Bauteilen eine Überschlagstelle nach 3.1.2.3. vorhanden sein. Die Überschlagstelle muß eine geringere Schlagweite haben als die brandgefährdete Näherungsstelle und ist möglichst oberhalb von ihr anzubringen. Brandgefahr besteht, wenn sich brennbare Stoffe im Überschlagsbereich befinden.

3.1.2.1. Erder

3.1.2.1.1. Als Erder sind zu verwenden:

a) Metallene Rohre, sofern sie mit weiträumig in der Erde verlegten Rohrnetzen gut leitfähig verbunden sind. (Das sind z. B. Wasserrohrnetze, nicht jedoch wärmeisolierte Fernheizrohrnetze.) Gasrohrnetze sind als alleinige Erder nicht zulässig.
b) Blitzschutzerder nach ABB.
c) Stahlskelette und Armierungen von Stahlskelett- oder Betongebäuden.

d) Schutzerder von elektrischen Niederspannungsanlagen.

3.1.2.1.2. Sind keine Erder nach 3.1.2.1.1. vorhanden, so sind für Antennen besondere Erdungsanlagen zu errichten.

3.1.2.2. Erdungsleitungen

3.1.2.2.1.a) Die Abmessungen der Erdungsleitungen dürfen die in der Tabelle angegebenen Werte nicht unterschreiten.

Tabelle Mindestabmessungen für Erdungsleitungen

Werkstoff	Verlegung außerhalb von Gebäuden	Verlegung innerhalb von Gebäuden
Stahl, verzinkt	Draht 8 mm ⌀ Seil unzulässig Draht mit thermoplastischer Schutzhülle, Mindest-Wanddicke 1 mm, 4,5 mm ⌀ oder 16 mm^2 Querschnitt	4,5 mm Durchmesser oder 16 mm^2 Querschnitt
Kupfer	Draht 8 mm ⌀ Seil 7 × 3 mm ⌀ Draht mit thermoplastischer Schutzhülle, Mindest-Wanddicke 1 mm, 3,5 mm ⌀ oder 10 mm^2 Querschnitt	3,5 mm Durchmesser oder 10 mm^2 Querschnitt
Aluminium	Draht 10 mm ⌀ Seil unzulässig Band 25 mm × 4 mm Draht mit thermoplastischer Schutzhülle, Mindest-Wanddicke 1 mm, 4,5 mm ⌀ oder 16 mm^2 Querschnitt	4,5 mm Durchmesser oder 16 mm^2 Querschnitt

Bei Aluminium ist z. B. Kunststoffaderleitung NYA 25 Al – TGL 4828 zulässig.

b) Ableitungen von Blitzschutzanlagen, metallene Rohre und Konstruktionsteile des Gebäudes mit ausreichenden Querschnitten, z. B. Feuerleitern usw., sind als Teile der Erdungsleitung zulässig. Regenfallrohre sind unzulässig. Gasrohrleitungen sind Nebenableitungen und als einzige Erdungsleitung nicht zulässig.

c) Erdungsleitungen, die in der Tabelle für die Verlegung innerhalb von Gebäuden zulässig sind, dürfen bis zu einer Länge von 1 m auch aus dem Gebäude herausgeführt werden, z. B. Anschluß an Antenne, Antennenträger, Überspannungsschutz.

3.1.2.2.2. behandelt die Verlegung von Erdungsleitungen. Werden mehrere Antennen auf einem Gebäude errichtet und beträgt deren Abstand weniger als 10 m, so sind deren Erdungsleitungen miteinander zu verbinden, wobei eine gemeinsame Erdungsleitung für alle Antennen zulässig ist. Erdungsleitungen sollen möglichst kurz und annähernd senkrecht zum Erder geführt werden. Stellenweise waagerechte oder steigende Anordnungen, z. B. bei Führung um Gebäudevorsprünge, ist zulässig. Es muß jedoch dabei der Abstand von zwei beliebigen Punkten (d in Bild 9.1.) zwischen Anfang und Ende der Umleitung größer sein als $^{1}/_{10}$ der zwischen diesen Punkten liegenden Leitungslänge. Erdungsleitungen müssen sichtbar verlegt sein, sie dürfen auch direkt auf Holz befestigt werden.

Verbindungsstellen im Zuge der Erdungsleitungen dürfen nach 3.1.2.2.3. nicht unmittelbar auf Holz oder in der Nähe von leicht brennbaren Stoffen liegen. Sie müssen zugänglich sein und dürfen sich nicht lockern. Die Verbindung mit leitfähigen Rohren muß über

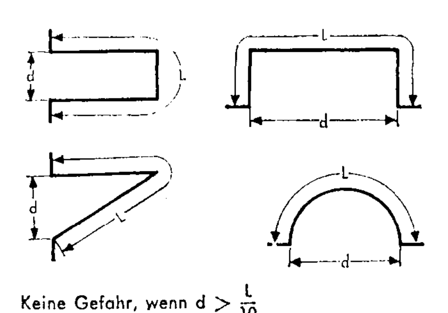


Bild 9.1. Beispiel für Umwegführung von Erdungsleitungen

Schellen mit mindestens 10 cm^2 Berührungsfläche erfolgen. Bei Verbindungsstellen sind Metallzusammenstellungen zu verwenden, deren elektrochemische Spannungsdifferenz 1,15 V nicht überschreitet.

3.1.2.3. – Überspannungsschutz – behandelt die Bemessung der Überschlagstellen. Als Grobschutz gelten Schutzfunkenstrecken, Trennfunkenstrecken, Überschlagstellen, Isolatoren oder sonstige isolierende Zwischenschichten, wenn die Schlagweite in Luft höchstens 30 mm beträgt oder die Isolation einen entsprechenden Durchschlagswert hat. Als Feinschutz gelten Überspannungsableiter mit einer Ansprechspannung von höchstens 1000 V – und einem Ableitvermögen von mindestens 0,5 Ws. Der Zusammenbau von Grobschutz und Feinschutz ist zulässig. Isolierstoffe im Bereich von Überschlagfunken müssen zumindest schwer brennbar sein. Funkenstrecken müssen von brennbaren Stoffen einen Mindestabstand haben, z. B. 10 cm von Holz und 60 cm von Stroh, Heu usw. Zwischen fest verlegten, leitfähigen Teilen einer Antennenanlage und solchen einer elektrischen Anlage sind Mindestabstände einzuhalten. Sie betragen nach 3.2.1.1. bei elektrischen Anlagen mit Spannungen über 65 V bis 1000 V (Effektivwert) gegen Erde in umbauten Räumen mindestens 10 mm, im Freien mindestens 20 mm.

3.2.2.1. Der Schirm der Antennenzuleitung oder des HF-Verteilernetzes (bei Gemeinschafts-Antennenanlagen) ist mit dem Erder der Antennenanlage dauerhaft zu verbinden, sofern nicht durch andere Maßnahmen dauerhaft und zuverlässig verhindert ist, daß Netzspannung auf das HF-Verteilernetz gelangt.

Bei Verwendung eines Antennenverstärkers ist seine Anschlußklemme für den Schutzleiter ebenfalls mit dem Erder der Antennenanlage zu verbinden. Bei fest verlegtem Anschluß des Antennenverstärkers an das Starkstromnetz darf dieser Anschluß nur mit Hilfe von Werkzeug möglich sein. Der Schirm des HF-

Verteilungsnetzes muß auch nach Ausbau des Verstärkers geerdet sein.

3.3. behandelt Kreuzungen, die jedoch bei Fernseh-Antennenanlagen kaum in Frage kommen.

TGL 200-7051 ersetzt die bisher gültige VDE 0855 Teil I/9.59.

Der Fachbereichstandard TGL 200-7051 Blatt 2 ist seit dem 1. 1. 1965 für alle ortsfesten Empfangs-Antennenanlagen und für alle ortsveränderlichen Empfangs-Antennenanlagen, die vorübergehend ortsfest errichtet werden, verbindlich.

Die *Deutsche Bauordnung* (DBO) vom 2. 10. 1958 schreibt grundsätzlich vor, welche Antennenaufbauten bauanzeigepflichtig bzw. bauantragspflichtig sind. Sie fordert in § 21, daß jeder, der ein Bauwerk errichten oder verändern will, einen Bauantrag oder eine Bauanzeige erstatten muß. *Bauanträge* sind *formgerechte*, schriftliche Anträge an die Staatliche Bauaufsicht auf Erteilung einer Baugenehmigung, *Bauanzeigen* sind *formlose* schriftliche Willensäußerungen an die Staatliche Bauaufsicht, eine bauanzeigepflichtige Baumaßnahme durchführen zu wollen. Nach § 22 DBO sind Sendeanlagen, Starkstromfreileitungen und *Maste* sowie Fundamente und Stützkonstruktionen für Betriebseinrichtungen *bauantragspflichtig*. Eine *Bauanzeige* wird nach § 23 DBO erforderlich, wenn die Anbringung von Großantennen und Antennenanlagen, die den Dachfirst um mehr als 5 m überragen, beabsichtigt ist.

In den §§ 292 und 293 enthält die DBO spezielle Bestimmungen für Antennenanlagen. Diese sind bereits in TGL 200-7051 eingearbeitet.

Schwere und tödliche Unfälle kommen immer wieder bei der Errichtung von Antennenanlagen vor. Sie sind in allen Fällen auf die Nichteinhaltung der einschlägigen Arbeitsschutzanordnungen zurückzuführen. So ist z. B. für die Arbeit auf Dächern oder Masten die Verwendung vorschriftsmäßiger Sicherheitsleinen und Sicherheitsgürtel vorgeschrieben. Für einfache Arbeiten, die von einer Leiter aus durchgeführt werden dürfen, ist die maximale Länge der Leiter mit 8 m angegeben. Alle Leitern sind vor ihrer Verwendung zu überprüfen. Schadhafte Sprossen, auch solche, die sich drehen,

müssen unverzüglich ausgewechselt werden. Das Aufnageln von Sprossen ist verboten. Leitern sind gegen Ausgleiten, Abrutschen, Umkippen oder Umstürzen sowie starkes Schwanken zu sichern. Das Anlehnen von Leitern an nicht sicheren Stützpunkten (z. B. Glasscheiben, Stangen, Spanndrähten usw.) ist verboten.

Bei Arbeiten auf Dächern oder Masten muß der Fallbereich von Werkzeugen oder sonstigen möglicherweise herabfallenden Gegenständen ausreichend abgesichert werden. Die Sicherung des Verkehrs ist unbedingt zu beachten. Werkzeuge sind in einer Tasche sicher unterzubringen und dürfen nicht auf Antennen- oder Mastteilen abgelegt oder während der Arbeiten auf den Knien gehalten werden. Nach Beendigung der Arbeiten sind der Arbeitsplatz und dessen Umgebung wieder ordnungsgemäß aufzuräumen. Eine gefährliche Unsitte stellt z. B. das Liegenlassen von Drahtabfällen dar.

Werden Maste aufgestellt, so müssen sich alle nichtbeteiligten Personen aus dem Fallbereich entfernen. Erfolgt keine besondere Fundierung, so sind Maste im Sechstel ihrer Gesamtlänge, jedoch nicht weniger als 1,60 m tief, einzugraben und gut zu verrammen. Beim Aufrichten sind Dreiböcke oder Gabelstützen zu verwenden. Das Fußende des Mastes ist so festzulegen, daß es nicht emporschnellen kann. Beim Aufrichten darf nicht auf den Mast getreten werden. Ein Mast darf erst dann bestiegen werden, wenn das Mastloch vollständig ausgefüllt ist. Zum Besteigen von Masten sind vorschriftsmäßige Sicherheitsgürtel anzulegen.

Steht ein Gewitter bevor, so sind alle Arbeiten an Antennenanlagen einzustellen.

Die ständig steigende Anzahl der Fernsehantennen hat auch ein erhebliches Anwachsen der durch Blitzeinschläge in Antennen verursachten Gebäudeschäden mit sich gebracht. Die Untersuchung solcher Beschädigungen ergab in den meisten Fällen, daß die ordnungsgemäße Erdung überhaupt fehlte oder einen viel zu hohen Erdübergangswiderstand hatte. Viele Antennen werden heute ohne die erforderliche Sachkenntnis montiert oder für den ersten Fernsehempfang provisorisch aufgestellt. Solche Provisorien bleiben bei gutem

Fernsehbild oft ein Dauerzustand. Sie gefährden dann die Sicherheit der Straßenpassanten und können umfangreiche Blitzschäden verursachen. Bei fehlerhaften Antennenanlagen tritt der Blitz nach Einschlag in die den Dachfirst überragende Antenne zum Innern des Gebäudes über und sucht sich dort den Weg des geringsten Widerstands zur Erde. Diesen findet er meist in den elektrischen Installationen und in anderen metallischen Leitern. Dabei werden durch Wärme- und Sprengwirkungen sowie durch elektrodynamische Kräfte umfangreiche Gebäude- und Einrichtungsschäden verursacht, die nicht selten zu Bränden führen sowie Leben und Gesundheit der Hausbewohner gefährden. Die Montage von Antennen erfolgt häufig in Eigenleistung oder durch hilfsbereite Freunde und Nachbarn unter der Leitung und Verantwortung des Auftraggebers. Von diesem muß deshalb gefordert werden, daß er alle für die Errichtung von Antennenanlagen erlassenen Bestimmungen streng beachtet und zu seiner eigenen Sicherung die Anlage von einem Fachmann prüfen und begutachten läßt. In Zweifelsfällen erteilt die zuständige Arbeitsschutzinspektion eindeutige und bindende Auskünfte.

Anhang

Umrechnungstafel von Frequenzen in Wellenlänge und umgekehrt

In der nachstehenden Tabelle kann jede Spalte MHz bzw. m bedeuten, die Umrechnung ist also in jeder Richtung möglich.

30	10,000	60	5,000	112	2,679	172	1,744
31	9,677	61	4,918	114	2,632	174	1,724
32	9,375	62	4,839	116	2,586	176	1,705
33	9,091	63	4,762	118	2,542	178	1,685
34	8,824	64	4,687	120	2,500	180	1,667
35	8,571	65	4,615	122	2,459	182	1,648
36	8,333	66	4,546	124	2,419	184	1,630
37	8,108	67	4,478	126	2,381	186	1,613
38	7,895	68	4,412	128	2,344	188	1,598
39	7,692	70	4,286	130	2,308	190	1,579
40	7,500	72	4,167	132	2,273	192	1,563
41	7,317	74	4,054	134	2,239	194	1,546
42	7,143	76	3,947	136	2,206	196	1,531
43	6,977	78	3,846	138	2,174	198	1,515
44	6,818	80	3,750	140	2,143	200	1,500
45	6,667	82	3,659	142	2,113	205	1,463
46	6,522	84	3,571	144	2,083	210	1,428
47	6,383	86	3,488	146	2,055	215	1,397
48	6,250	88	3,409	148	2,027	220	1,363
49	6,122	90	3,333	150	2,000	225	1,333
50	6,000	92	3,261	152	1,974	230	1,304
51	5,882	94	3,192	154	1,948	235	1,277
52	5,769	96	3,125	156	1,923	240	1,250
53	5.660	98	3,061	158	1,899	245	1,224
54	5,555	100	3,000	160	1,875	250	1,200
55	5,454	102	2,941	162	1,852	260	1,154
56	5,357	104	2,885	164	1,829	270	1,111
57	5,263	106	2,830	166	1,807	280	1,071
58	5,172	108	2,778	168	1,786	290	1,034
59	5,085	110	2,727	170	1,765	300	1,000

Relatives Spannungs-, Strom- und Leistungsverhältnis in Dezibel

Faktor bei — dB (Dämpfung) Leistung $\frac{P_1}{P_2}$	Spannung bzw. Strom $\frac{U_1}{U_2}$ bzw. $\frac{I_1}{I_2}$	dB	Faktor bei + dB (Verstärkung) Spannung bzw. Strom $\frac{U_1}{U_2}$ bzw. $\frac{I_1}{I_2}$	Leistung $\frac{P_1}{P_2}$
1,0	1,0	— 0,0 +	1,0	1,0
0,891	0,944	— 0,5 +	1,059	1,121
0,794	0,841	— 1,0 +	1,122	1,259
0,707	0,841	— 1,5 +	1,189	1,394
0,621	0,795	— 2,0 +	1,259	1,585
0,563	0,750	— 2,5 +	1,333	1,777
0,501	0,708	— 3,0 +	1,413	1,995
0,446	0,668	— 3,5 +	1,497	2,241
0,397	0,631	— 4,0 +	1,585	2,512
0,354	0,595	— 4,5 +	1,680	2,823
0,316	0,562	— 5,0 +	1,778	3,163
0,251	0,501	— 6,0 +	1,995	3,981
0,200	0,447	— 7,0 +	2,24	5,01
0,158	0,398	— 8,0 +	2,51	6,31
0,126	0,355	— 9,0 +	2,82	7,94
0,100	0,316	— 10 +	3,16	10,00
0,079	0,282	— 11 +	3,55	12,59
0,063	0,251	— 12 +	3,98	15,85
0,050	0,224	— 13 +	4,47	19,96
0,040	0,200	— 14 +	5,01	25,12
0,032	0,178	— 15 +	5,62	31,63
0,025	0,158	— 16 +	6,31	39,8
0,020	0,141	— 17 +	7,08	50,1
0,016	0,126	— 18 +	7,95	62,1
0,013	0,112	— 19 +	8,91	79,4
0,010	0,100	— 20 +	10,0	100,0
0,0079	0,089	— 21 +	11,20	125,9
0,0062	0,079	— 22 +	12,59	158,5
0,0050	0,071	— 23 +	14,13	199,5
0,0038	0,062	— 24 +	15,85	251,2
0,0031	0,056	— 25 +	17,78	316,3
0,0025	0,050	— 26 +	19,95	398,1
0,0020	0,045	— 27 +	22,40	501
0,0016	0,040	— 28 +	25,12	631
0,0012	0,035	— 29 +	28,20	794
0,0010	0,032	— 30 +	31,60	1000
0,00079	0,028	— 31 +	35,5	1259
0,00062	0,025	— 32 +	39,8	1585
0,00050	0,022	— 33 +	44,7	1996
0,00038	0,020	— 34 +	56	2512
0,00031	0,018	— 35 +	56	3165

Faktor bei — dB (Dämpfung) Leistung	Spannung bzw. Strom		Faktor bei + dB (Verstärkung) Spannung bzw. Strom	Leistung
$\frac{P_1}{P_2}$	$\frac{U_1}{U_2}$ bzw. $\frac{I_1}{I_2}$	dB	$\frac{U_1}{U_2}$ bzw. $\frac{I_1}{I_2}$	$\frac{P_1}{P_2}$
0,00025	0,016	— 36 +	63	3980
0,00020	0,014	— 37 +	71	5016
0,00016	0,013	— 38 +	80	6210
0,00012	0,011	— 39 +	89	7940
0,00010	0,010	— 40 +	100	10000
0,00003	0,006	— 45 +	178	31630
0,00001	0,003	— 50 +	316	100000
0,000003	0,002	— 55 +	560	316300
0,000001	0,001	— 60 +	1000	1000000

Das Fernsehversorgungsnetz der DDR — Stand vom 1. 1. 1969

Senderstandort	Sendekanal	Polarisation* der Antenne	Senderstandort	Sendekanal	Polarisation* der Antenne
Fernsehsender					
Berlin	5	H	Inselsberg	5	H
Brocken	6	H	Karl-Marx-Stadt	8	H
Cottbus	4	H	Leipzig	9	V
Dresden	10	V	Marlow	8	H
Helpterberg	3	H	Schwerin	11	H
Fernsehkleinsender					
Bleßberg	12	H	Lobenstein	7	V
Eisenhüttenstadt	7	H	Schöneck	6	V
Frankfurt/Oder	11	H	Rhinow	9	H
Görlitz	6	H			
Fernsehkanalumsetzer					
Bezirk Dresden					
Bad Gottleuba	6	H	Meißen I	6	H
Bad Schandau	5	H	Meißen II	11	H
Colmnitz	6	V	Neukirch	11	H
Dippoldiswalde	4	V	Neustadt	4	V
Dresden	8	H	Nossen	12	H
Ebersbach	11	H	Oppach	5	V
Freital	6	H	Oybin-Hochwald	11	H

* H = horizontal polarisiert, V = vertikal polarisiert, H/V = bei dieser Anlage werden horizontal und vertikal polarisierte Antennenfelder verwendet.

Senderstandort	Sendekanal	Polarisation* der Antenne	Senderstandort	Sendekanal	Polarisation* der Antenne
Garsebach	12	H	Poisenthal	7	V
Geising I	6	H	Rabenau	3	V
Geising II	12	H	Reinhardsgrimm	8	V
Glashütte	6	H	Schmiedeberg	6	H/V
Graupa	7	H	Sebnitz I	6	H
Kamenz	9	H	Sebnitz II	11	H
Kreischa	6	V	Tharandt	6	H
Lausche	9	H	Wehlen	8	V
Leuben	5	H	Wilthen-		
Lodenau	9	V	Kirschau	8	H
Bezirk Erfurt					
Angelroda	11	V	Hundeshagen	12	H
Apolda	7	V	Ilfeld	11	H
Arenshausen	9	H	Kranichfeld	11	H/V
Bad Berka	8	V	Lutter	12	H
Bad Sulza	11	V	Ruhla	8	V
Brehme	9	H	Sollstedt	11	H
Dippach	9	V	Sondershausen	9	H
Eisenach	9	H	Stadtilm	9	H
Fretterode	11	H	Sülzhayn	9	H
Geisleden	11	V	Tambach-		
Geismar	9	H	Dietharz	8	V
Gräfenroda	9	H	Treffurt	11	H
Großbartloff	11	H	Wartha	11	H/V
Heiligenstadt	9	H	Weimar	12	H
Bezirk Frankfurt/Oder					
Bad Freienwalde	8	H	Schwedt	9	H
Buckow	9	H			
Bezirk Gera					
Auma	7	H	Langen-		
Bad Blankenburg	9	H	wetzendorf	12	V
Berga	11	V	Lehesten	11	H
Blankenstein	9	H	Leutenberg	11	H
Döschnitz-			Lobenstein	11	H
Rohrbach	9	H/V	Marktgölitz	9	H
Elsterberg	11	V	Neustadt/Orla	11	V
Frössen	11	V	Orlamünde	11	V
Gefell	12	V	Pausa	11	V
Gera	11	H	Pößneck	9	V
Greiz	5	V	Probstzella	11	V
Hirschberg	5	V	Rauda	7	H
Horba	12	H/V	Rudolstadt	8	V
Jena I	11	V	Saalburg	11	V
Jena II	7	H	Saaldorf	9	H
Kahla	7	V	Saalfeld	11	H
Königssee	8	V	Schleiz	11	H

Senderstandort	Sendekanal	Polarisation* der Antenne
Teichwolframsdorf	6	H
Triebes	6	H
Trockenborn-Wolfersdorf	12	H
Unterwellenborn	12	V
Weida	5	V
Wünschendorf	7	H
Wurzbach	9	H
Ziegenrück	9	H

Bezirk Halle

Senderstandort	Sendekanal	Polarisation* der Antenne
Alsleben	12	H
Bad Frankenhausen	11	H
Bad Kösen	11	H
Breitungen/Harz	12	H
Freist	11	H
Freyburg/Unstrut	7	V
Gerbstedt	7	H
Göllingen	12	H
Hergisdorf	12	H
Hettstedt	11	V
Kulpenberg	8	V
Laucha	12	H
Mansfeld	7	V
Mücheln	11	V
Nebra	11	H
Osterfeld	11	H
Rothenburg	11	H
Salzmünde	12	V
Sandersleben	8	H
Schellbach	5	H
Schraplau	7	H
Stolberg	9	H
Thale	12	V
Weißenfels	12	H
Wetterzeube	12	H
Wippra	11	H

Bezirk Karl-Marx-Stadt

Senderstandort	Sendekanal	Polarisation* der Antenne
Adorf	10	H
Annaberg	11	H
Aue	5	V
Auerbach	12	H/V
Bad Brambach	11	V
Bad Elster	5	H
Bockau	12	H
Borstendorf	10	H
Crottendorf	12	V
Eibenstock	11	H
Einsiedel	11	V
Eppendorf	5	V
Flöha	5	H
Frankenberg	12	V
Freiberg	12	H
Geyer	11	V
Jöhstadt	5	V
Kirchberg	11	H
Klingenthal I	11	H
Klingenthal II	7	H
Kunnersdorf	6	V
Leubsdorf	11	H
Lunzenau	11	V
Marienberg	6	H
Markersdorf	12	H
Markneukirchen	11	H/V
Oberbobritzsch	11	V
Oberwiesenthal	5	H
Oelsnitz	11	V
Olbernhau	5	V
Penig	5	V
Plauen	5	V
Pockau	11	V
Raschau	7	H
Rechenberg-Bienenmühle	11	H
Reichenbach	11	H
Rittersgrün	5	H
Rochlitz	11	H
Scharfenstein	11	H
Schönberg	7	V
Schwarzenberg	11	V
Seiffen-Neuhausen	11	H
Thum	5	H
Triebel	10	H
Weischlitz	11	H
Werdau	12	H

Senderstandort	Sende-kanal	Polarisation* der Antenne	Senderstandort	Sende-kanal	Polarisation* der Antenne
Wilkau-Haßlau	5	H	Zschopau	5	H
Wolkenstein	12	H			
Bezirk Leipzig					
Döbeln	6	V	Roßwein	5	H
Hohburg	12	H	Schmölln	11	H
Leisnig	7	H	Waldheim	11	H
Bezirk Magdeburg					
Altenbrak	12	H	Schierke	9	H
Blankenburg/ Harz	9	H			
Bezirk Neubrandenburg					
Stolpe	11	V	Waren	9	V
Bezirk Rostock					
Binz	6	V	Saßnitz	11	H
Heringsdorf	11	H	Stralsund	5	V
Koserow	6	H			
Bezirk Suhl					
Bad Liebenstein	9	H	Mengersgereuth-Hämmern	7	H
Biberau	11	H	Ober-Unterweid	9	H
Blechhammer	7	H	Pferdsdorf	9	H/V
Breitenbach	10	V	Rauenstein	5	H
Diedorf	8	H	Roth	9	H
Dillstädt	7	V	Schleid	11	H/V
Eisfeld	7	H	Schleusingen	9	H
Erbenhausen	9	V	Schmalkalden	11	H
Fehrenbach	10	V	Schmiedefeld Krs. Neuhaus	11	H
Geraberg	8	V	Schmiedefeld/ Rennst.	11	V
Gießübel	9	H	Schönbrunn	7	H
Gräfenthal	6	H	Sonneberg	9	H
Haselbach	7	H	Stedtlingen	8	V
Heldburg	11	H	Steinach	9	H
Hildburghausen	11	H	Stützerbach	7	V
Ilmenau	11	H	Suhl I	11	H
Jüchsen-Neubrunn	9	V	Suhl II	8	H
Kaltennordheim	11	H/V	Ummerstadt	10	V
Katzhütte I	11	V	Unterschönau	11	V
Katzhütte II	6	V	Vachdorf	11	H
Köppelsdorf	5	H	Zella-Mehlis	9	H
Lauscha	11	H			
Lichte	9	H			
Meiningen	8	H/V			
Mellenbach	9	H			

Fernseh-Umlenkantennenanlagen

Anlagen-standort	Abstrahl-kanal		Anlagen-standort	Abstrahl-kanal	
Bezirk Cottbus					
Bad Muskau	9	H	Wilhelm-Pieck-Stadt Guben	9	H
Bezirk Dresden					
Bielatal	10	H	Markersbach	10	H
Hinterhermsdorf	10	H	Rathen	8	V
Krippen	10	H	Wehrsdorf	10	V
Löbau	6	V			
Bezirk Erfurt					
Faulungen	5	V	Luisenthal	6	V
			Steigerthal	6	V
Hildebrandshausen	5	V	Vatterode	6	V
Bezirk Gera					
Breternitz	5	V	Öpitz	5	V
Camburg	6	V	Ottendorf	5	V
Dornburg	5	V	Preilipper Kuppe Schwarza	6	V
Dorndorf-Heilingen	9	H	Renthendorf	8	V
Eichfeld-Keilhau	5	V	Rothenstein	9	H
Engerda	5	V	Rottenbach	5	V
Gera-Liebschwitz	9	H	Schwarzburg	5	V
Greiz-Dölau	8	V	Sitzendorf	6	V
Hohenwarte	5	V	Stadtroda	5	V
Könitz	5	V	Steudnitz	6	V
Kraftsdorf	9	H	Teichel	6	V
Krölpa	5	V	Uhlstädt	5	V
Langendembach	5	V	Unterloquitz	6	V
Langenorla	5	V			
Neuengönna	9	H			
Bezirk Halle					
Bad Bibra	6	V	Saubach	6	V
Bezirk Karl-Marx-Stadt					
Bobeneukirchen	6	V	Kriebethal	9	H
Hallbach	5	V	Pobershau	8	V
Hammer-Leubsdorf	8	V	Possek	6	V
Hopfgarten	8	V	Schindelbach	8	V
Kemtau	8	V	Schönbrunn	8	V
Königswalde	8	V	Wolfsgrün-Blauenthal	8	V
Bezirk Suhl					
Altenfeld	5	V	Schleusinger-Neundorf	5	V
Ellingshausen	5	V	Schwarzmühle	5	V
Heinersdorf I	12	V	Spechtsbrunn	5	V
Heinersdorf II	12	V	Steinbach	5	V
Heubach	5	V	Untere Lauscha	5	V
Manebach	6	V	Unterweißbach	5	V
Mönchsberg	12	V			

31.—45. Tausend, dritte, verbesserte Auflage
Deutscher Militärverlag · Berlin 1969
Lizenz-Nr. 5
Lektor: Bernd Schneiderheinze
Zeichnungen: Erich Böhm
Korrektor: Johanna Pulpit
Typografie: Helmut Herrmann
Hersteller: Werner Briege
Gesamtherstellung:
I/16/01 Druckerei Märkische Volksstimme Potsdam
1,90

84